

Technická univerzita v Liberci
FAKULTA TEXTILNÍ

Katedra: Katedra oděvnictví

Studijní program: 3106

Studijní obor: Oděvní technologie

**Studie chování plošné textilie při ohybové deformaci po
tvarování**

**The study of acting of surface textile at bending deformation
after heat ironing**

782

Autor: **Bc. Sylva Nováková**

Podpis:

Adresa:

Chvalovice 93, Znojmo, 669 02

Vedoucí práce: **Ing. Katarína Zelová**

Počet

stran	obrázků	tabulek	příloh
86	46	15	57

Zadání

Prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušila autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním diplomové práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci, dne 12. 5. 2008

.....

Podpis

Poděkování

Touto cestou bych ráda poděkovala vedoucí diplomové práce paní Ing. Kataríně Zelové za pomoc a čas, který mi při konzultacích věnovala.

Také bych ráda poděkovala manželovi, dceři a rodičům, kteří mi byli po dobu mého studia oporou.

Anotace

Diplomová práce je zaměřena na studii chování plošné textilie při ohybové deformaci po tepelném tvarování. Práce se opírá o informace ze zdrojů zabývajících se tematikou tvarování textilních materiálů a deformací textilních materiálů.

První část diplomové práce se věnuje řešení tvarování plošné textilie při ohybové deformaci metodou úhlu zotavení.

Ve druhé části diplomové práce je obsažen popis metod zjišťování úhlu zotavení plošné textilie po tvarovacím procesu..

Třetí část diplomové práce analyzuje síly ovlivňující ohybovou deformaci plošné textilie.

Ve čtvrté části diplomové práce jsou autorkou diplomové práce navrženy způsoby snímání a vyhodnocení úhlu zotavení plošné textilie pomocí digitálního fotoaparátu. Tato část obsahuje detailní popis navrženého postupu snímání úhlu zotavení plošné textilie a dále také detailní popis způsobů vyhodnocování úhlu zotavení plošné textilie.

Závěrečná část diplomové práce se zabývá měřením úhlů zotavení a následným vyhodnocením zjištěných úhlů zotavení. V poslední kapitole dané části diplomové práce jsou jednotlivé navržené metody vzájemně porovnány z hlediska výhodnosti a nevýhodnosti jejich užití při řešení praktických požadavků v procesu technologického zpracování textilií.

Klíčová slova:

- ohybová deformace
- tvarování plošné textilie
- úhel zotavení
- snímání úhlu zotavení
- metody vyhodnocení úhlu zotavení

Annotation

The thesis focuses on the study of acting of surface textile at bending deformation after heat ironing. The information was taken from sources that deal with the topic of heat ironing and deformation of textile materials.

The first part of the thesis concentrates on the literature search of heat ironing of surface textile at bending deformation using the method of recovery angle.

The second part contains the description of the methods that find out the recovery angle after forming process.

The third part of the thesis analyses the powers that influence bending deformation of surface textile.

In the fourth part of the work the author suggests ways of scanning and evaluation of recovery angle using a digital camera. This part contains a detailed description of suggested process, scanning of recovery angle of surface textile as well as well-described ways of recovery angle evaluation.

The final part deals with measuring of recovery angles and subsequent evaluation of measured angles. The last chapter of the thesis compares particular suggested methods from different points of view, the advantages and disadvantages of their use considering practical demands in the technological process of manufacturing textile.

Key words:

- bending deformation
- heat ironing of surface textile
- recovery angel
- scanning of recovery angel
- evaluation methods of recovery angel

Seznam použitých symbolů

SYMBOL	popis	JEDNOTKY
E	Youngův modul pružnosti	[Pa]
M ₀	ohybový moment	[Nm]
M _A	moment v bodě A	[Nm]
M _X	moment v místě řezu	[Nm]
N _X	normálová síla v místě řezu	[N]
W ₀	modulem průřezu v ohybu [mm ³]	[mm ³]
L	délka vzorku [m]	[m]
Q	spojité zatížení [N/m]	[Nm]
R _{AY}	reakce v bodě A v ose y [N]	[N]
R _{AX}	reakce v bodě A v ose x [N]	[N]
R _K	korelační koeficient	[-]
S _X	směrodatná odchylka z hodnoty x	[-]
S _Y	směrodatná odchylka z hodnoty y	[-]
T _X	tečná síla v místě řezu	[N]
\bar{X}	průměrná hodnota z naměřených hodnot na ose y	[-]
\bar{Y}	průměrná hodnota z naměřených hodnot na ose y	[-]
F	síla	[N]
E	deformace	[-]
E _C	celková deformace	[%]
E _E	elastická deformace	[%]
E _P	plastická deformace	[%]
E _Z	zotavená deformace	[%]
Σ	napětí	[Pa]
ϑ _I	teplota zvratu I. řádu	[°C]
ϑ _{II}	teplota zvratu II. řádu	[°C]
ϑ _M	teplota měknutí	[°C]
T _Z	doba zatížení	[s]
T ₀	doba odlehčení	[s]
α	úhel zotavení	[°]

zkratka	popis
<i>č.</i>	číslo
<i>obr.</i>	obrázek
<i>PES</i>	polyester
<i>PAD</i>	polyamid
<i>POP</i>	polypropylen
<i>VS</i>	viskóza
<i>vl</i>	vlna
<i>s</i>	sekunda
<i>tzv.</i>	takzvaný

Obsah

1	Úvod	11
2	Teoretická část	12
2.1	Tepelnětvarovací proces	12
2.1.1	Tvarování plošných textilií	12
2.1.2	Vlastnosti textilií ovlivňující tvarovací proces plošných textilií	13
2.1.3	Termické vlastnosti vláken	13
2.1.4	Tepelné přechody	15
2.2	Ohybová deformace při měření úhlu zotavení	19
2.2.1	Mechanické vlastnosti	19
2.2.2	Deformační chování polymerů	20
2.2.3	Vlastnosti textilií ovlivňující mechanické vlastnosti plošných textilií	22
2.2.3.1	Charakteristika vlákna a jeho vliv na ohybovou deformaci plošné textilie	23
2.2.3.2	Charakteristika příze a její vliv příze na ohybovou deformaci plošné textilie	24
2.2.3.3	Charakteristika plošné textilie a její vliv na ohybovou deformaci plošné textilie	26
3	Metoda měření úhlu zotavení	28
3.1	Metody zjišťování úhlu zotavení	30
3.1.1	Metoda měření úhlu zotavení na přístroji UMAK	30
4	Síly ovlivňující ohybovou deformaci plošné textilie	31
4.1	Ohyb vetknutého nosníku – proužku textilie	31
4.2	Model zotavení tkanin po ohybové deformaci	34
5	Experimentální část	35
5.1	Použité plošné textilie	36
5.2	Příprava vzorku a snímání úhlu zotavení pomocí digitálního fotoaparátu a PC	36
5.3	Metody použité k hodnocení úhlu zotavení	39
5.3.1	Měření úhlu zotavení pomocí ručního úhloměru	40
5.3.2	Měření úhlu zotavení pomocí programu Corel draw 9	41
5.3.3	Měření úhlu zotavení pomocí programu NIS – Elements	43
5.3.4	Měření úhlu zotavení pomocí programu Matlab	47
5.3.4.1	Postup zpracovávání obrazu a měření úhlu zotavení	49
6	Vyhodnocení naměřených úhlů zotavení všech typů metod	58
6.1	Výsledky měření	58

6.1.1	Měření úhlu zotavení - vzorek č.1	58
6.1.2	Měření úhlu zotavení - vzorek č.2	59
6.1.3	Měření úhlu zotavení - vzorek č.3	60
6.2	Porovnání výsledků dle typu použitých metod zjišťování úhlu zotavení	61
6.2.1	Porovnání výsledků -vzorek č.1	62
6.2.2	Porovnání výsledků -vzorek č. 2	64
6.2.3	Porovnání výsledků -vzorek č. 3	66
6.3	Porovnání výsledků dle typu použitých metod zjišťování úhlu zotavení pomocí korelace	68
6.3.1	Korelace a regrese mezi použitými metodami - vzorek č.1	68
6.3.2	Korelace a regrese mezi použitými metodami - vzorek č. 2	71
6.3.3	Korelace a regrese mezi použitými metodami - vzorek č. 3	74
6.4	Diskuse výsledků	78
7	Závěr	81
8	Seznam použité literatury	83

1 Úvod

Jedna z důležitých etap výrobního procesu je tvarovací proces. Tvarovací proces vstupuje do výroby již ve spojovacím procesu, jedná se především o mezioperační tvarování, kde jeden z jeho úkolů je udávat tvar již u rozpracovaného výrobu.

Tato operace se děje při dané teplotě, času a tlaku. Vzájemným působením těchto daných faktorů na plošnou textilií dojde k ohybové deformaci v místě přehybu plošné textilie.

Požadavkem je, aby tyto deformace v místě přehybu byly trvalé, je důležité, aby plošná textilie neměla tendenci vracet se do původního stavu, což je nežádoucí jev vzhledem k výsledné kvalitě tvarování.

Tento nežádoucí jev ovlivňuje několik faktorů, jako jsou hlavně vlastnosti plošných textilií, zejména její schopnost relaxace, tzn., že plošná textilie má tendenci se vracet se po skončení působení zátěže do původního stavu. K zamezení těchto nežádoucích jevů musí být vhodně zvoleny parametry tvarování vzhledem k tvarované plošné textilii.

Ohybová deformace plošné textilie po tvarování lze měřit jako tzv. úhel zotavení.

Jedná se o měření úhlu zotavení po skočení tvarování, kdy po odstranění žehličky je relaxující vzorek plošné textilie snímán digitálním fotoaparátem a následně je měřen úhle zotavení.

V současné době není vyvinuto velké množství metod ke snímání a měření úhlu zotavení. Cílem diplomové práce je navržení metod měření a vyhodnocení úhlu zotavení, závěrem jsou tyto metody vzájemně porovnávány.

2 Teoretická část

2.1 Tepelnětvarovací proces

Tvarovací proces je nedílnou součástí oděvní výroby. Působí ve všech fázích hlavního výrobního procesu.

Tvarování textilií jsou tepelné a vlhkotepelné procesy, jejichž účelem je dát výrobku maximální tvarovou stálost a zlepšit jeho konečný estetický vzhled.

Tvarování se provádí pomocí působení:

- tepla;
- tlaku;
- vlhkosti;
- doby tvarování.

2.1.1 Tvarování plošných textilií

Tvarováním plošných textilií dle [8,4] je technologický, fyzikálně-chemický nebo fyzikálně-mechanický proces, prostřednictvím kterého dochází k vytvoření požadovaného rovinného či prostorového tvaru.

Tvarovatelnost vyplývá z:

- tepelně-fyzikálních a mechanických vlastností materiálu;
- podmínek tvarování (teplota, čas, tlak a působící vlhko);
- potřeby uchování dosaženého tvaru.

Síla působící na materiál(deformace) musí být větší než síly uvnitř materiálu a musí působit určitou velikostí, v určitém čase a za určitých podmínek.

Jednou z požadovaných deformací vlivem tvarování je rozžehlení či sežehlení švových záložek. Tato deformace je měřitelná a vyjadřuje se jako tzv. úhel zotavení.

Úhel zotavení je úhel, který vznikne po ukočení působení zátěže, v uvažovaném případě to je po odstranění žehličky. Úhel zotavení dle [23] je ovlivněn působením tlaku žehličky, teplotou tvarování a dobou působení, tzn. že kvalitní rozžehlení či sežehlení švové záložky je dosaženo při optimální teplotě, tlaku a délce tvarování. Optimální teploty pro dané materiály jsou uváděny výrobcí textilií.

Hlavním předpokladem kvalitního tvarování švových záložek je, aby úhel zotavení byl minimální. Při větším úhlu zotavení mají švové záložky tendenci se napřimovat a tento jev je pro daný proces zpracování textilu zcela nežádoucí. Napřimování švových záložek je způsobeno tím, že materiál má tendenci vrátet se do původního rovinného stavu. Tato skutečnost je zapříčiněna nesprávném nastavením parametrů tvarování daného textilního materiálu.

2.1.2 Vlastnosti textilií ovlivňující tvarovací proces plošných textilií

Tvarovatelnost plošné textilie je ovlivněna její strukturou a vlastnostmi, které jsou dány zejména:

- materiálovým složením plošné textilie;
- vlastnostmi vláken;
- vlastnostmi příze;
- parametry konstrukcí plošné textilie.

2.1.3 Termické vlastnosti vláken

Termické vlastnosti vláken dle [15] jsou velmi důležité pro volbu vhodných parametrů pro jejich zpracování či použití. Smyslem ohřevu je vytvoření trvalé deformace.

Dle [2] je změna vlastností vláken ovlivněna zejména takovými faktory, jako jsou teplota, tlak a čas působení tepla na daný materiál.

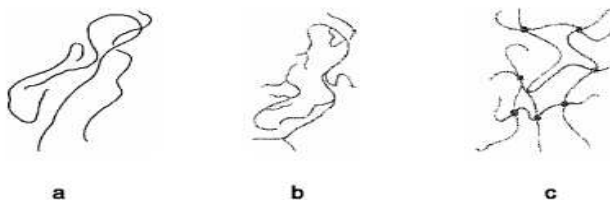
Působením tepla na vysokomolekulární látku dle [4] dochází dle fyzikálních zásad ke změnám struktury materiálu, které se jeví navenek jako změny tvaru a následně jako změny fáze.

Strukturální změny vlákna vyvolané vlivem termického působení ovlivňují užitkové vlastnosti zpracovávaných vláken. Působením tepla na vlákna dochází v těchto vláknech jak ke změnám chemickým, tak ke změnám jejich rozměrové stability a současně také ke změnám mechanickým vlastnostem vláken.

Chemickou změnou dle [2], k níž dochází ve vláknech pod vlivem působení tepla, je degradace polymeru. Tato degradace může být provedena náhodně či

orientovaně. Výše zmíněný jev závisí na druhu zpracovávaného vlákna a na podmínkách reakce. Současně s degradací může polymer i zesíťovat (Obr.1).

Síťové polymery dle [11] jsou makromolekulární látky, ve kterých jsou řetězce vzájemně spojeny chemickými vazbami tak, že vytvářejí trojrozměrnou prostorovou síť. Tyto síťové polymery vznikají zesíťováním lineárního nebo rozvětveného polymeru.



Obrázek 1: Schématické znázornění makromolekul lineárního (a), rozvětveného (b) a zesíťovaného polymeru(c).

Pomocí zesíťování dojde u polymeru ke zlepšení fyzikálně-mechanických vlastností., jedná se např. o vyšší modul pružnosti či skutečnost, že polymer přestává být rozpustný.

Rozměrová stabilita vláken dle [2] se vlivem působení tepla na vlákna projevuje především kontrakcí těchto vláken.

Kontrakce (srážení) vláken je definovaná jako irevizibilní změna délky vlákna (vyjádřená v %) při jeho zkrácení, nejčastěji vyvolaném vlivem tepla.

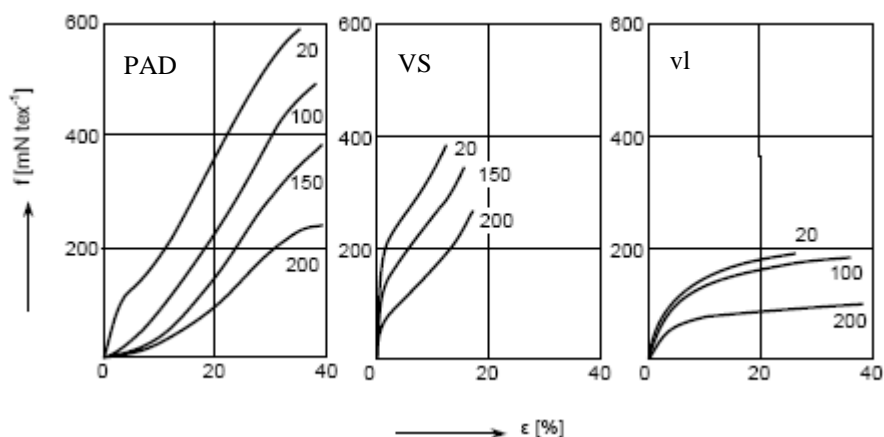
Při výrobě vlákna dle [11] jsou makromolekuly nuceny přijmout napřímené, tedy nepřírozené uspořádání. Zahříváním je dodána energie, která zvyšuje molekulární pohyb nebo alespoň pohyb molekulárních segmentů a molekula se navrácí do svého přirozeného tvaru, tzn.do stavu s vyšší entropií. Hlavním faktorem pro uskutečnění výše popsaného procesu je změna entropie. Entropie je míra neuspořádanosti systému. Při změně entropie má každý systém snahu zaujmout stav s co nejmenší mírou uspořádanosti (s nejvyšší entropií).

Změny struktury a vlastností vláken dle [2] se vyskytují zejména v oblasti vyšších teplot a pro jednotlivé druhy vláken jsou specifické.

U parametrů struktury materiálu se jedná zejména o změnu struktury krystalických a amorfních oblastí.

Současně se změnou struktury materiálu dochází ke změnám vlastností vláken. Změny mechanických vlastností vláken se mění se stoupající teplotou. Vlivem stoupající teploty se pevnost vláken lineárně snižuje.

Dle [4] je pod vlivem růstu teploty vyvolána v amorfních oblastech zvýšená pohyblivost řetězců a tímto u tahové křivky dochází k dosažení nižší hodnoty pevnosti a vyšší hodnoty deformace (Obr.2).



Obrázek 2: Pevnost textilních vláken v závislosti na teplotě (20,100,150,200 °C).

2.1.4 Tepelné přechody

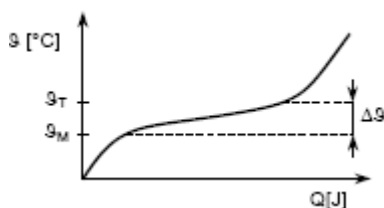
Teploty náhlých změn vlastností dle [2], tj. tepelné přechody, jsou specifické pro jednotlivé druhy vláken a jsou spojeny se změnou segmentální pohyblivosti makromolekulárních řetězců. Ve většině případů jsou pozorovány fázové přechody I. a II. stupně.

Chování hmot při vnějším působení tepla jsou rozdílné v tom, zda se jedná o nízkomolekulární nebo vysokomolekulární látku. Nízkomolekulární látky se jako textilní vlákna nevyskytují, proto následně budou v této práci popisovány jen vysokomolekulární látky.

Vysokomolekulární látky

Vysokomolekulární látky dle [19,4] mají molekulovou a jemnou strukturu je mnohem složitější. Určující faktory pro změny vlastností při působení tepla jsou tvar molekul, tuhost řetězců a stupeň krystality.

Grafický průběh ohřevu vysokomolekulárních látek, vyvolaného níže popsanými ději, vykazuje jako charakteristické body křivky teplotu měknutí a tání (Obr.3).



Obrázek 3: Graf ohřevu vysokomolekulárních látek

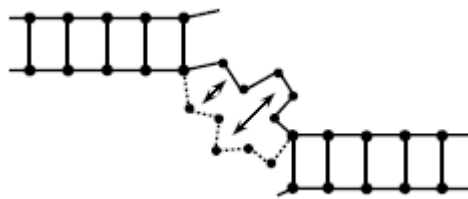
Teplotní rozdíl $\Delta \vartheta = \vartheta_T - \vartheta_M$ udává velikost krystalického podílu ve vlákne. Obvykle se pohybuje v intervalu $<15-17>^{\circ}\text{C}$. Teplota zvratu II. řádu - ϑ_{II} však není na křivce ohřevu odečitatelná, protože u této teploty dochází ke změnám entalpie ΔH a měrného tepla c .

Chování polymeru při zvyšující se teplotě:

FÁZOVÝ PŘECHOD II. ŘÁDU

- nevyvolává žádné změny molekulového uspořádání, mění se reakce struktury. Způsob uspořádání molekulových řetězců nad a pod přechodem je stejný.

- **Skelný stav** - při nízkých teplotách vibrují v polymeru atomy pouze kolem svých rovnovážných poloh. Polymer se jeví jako tvrdý a křehký – vykazuje pouze elastické deformace dle Hooka. Platí do teploty $T_g (\vartheta_{II})$.
- **Teplota zvratu II. řádu (ϑ_{II})** - přechodovým stupněm mezi skelným a kaučukovým stavem. Při teplotě zvratu II. řádu dochází k prudké změně některých vlastností vláken, jako jsou např. pevnost, optické vlastnosti či měrné teplo. Tato teplota je udávána jako střední hodnota.
- **Kaučukovitý stav** – při další dodávce tepla se přemisťují celé segmenty amorfních makromolekul a mohou nabývat různých konformací (Obr.4). Vykazuje elastické a současně plastické deformace (viskoelastické deformace).

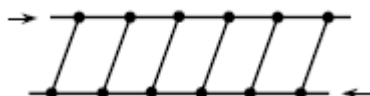


Obrázek 4: Přemístění amorfních segmentů makromolekul

FÁZOVÝ PŘECHOD I. ŘÁDU

- je charakterizován změnou ze stavu pravidelně uspořádaných krystalů do neuspořádané formy, tj. taveniny se strukturou kapaliny.

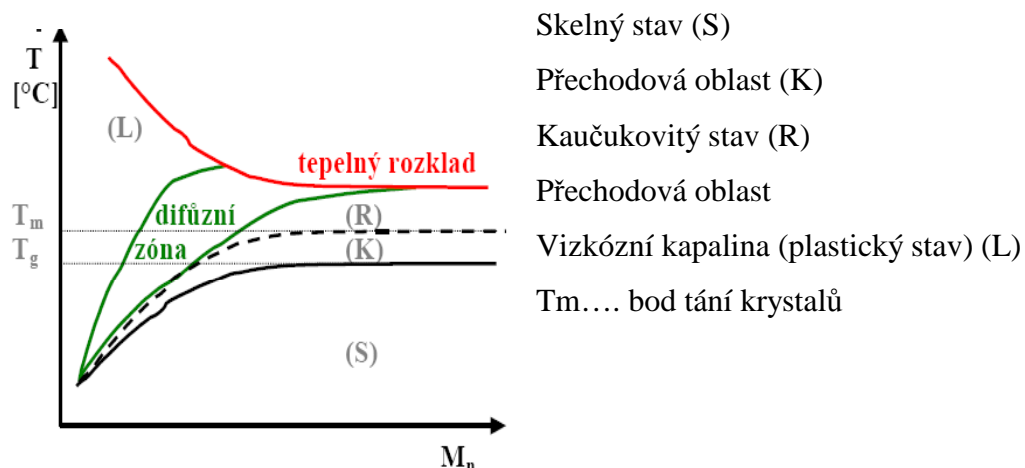
- **Teplota měknutí ϑ_M (teplota tečení T_F)** - přechodový stupeň mezi kaučukovým a plastickým stavem. Při teplotě měknutí dochází k rozrušování prvních sekundárních vazeb. Rozrušením poslední sekundární vazby v polymeru jsou roztaveny všechny krystaly a tato teplota je označována jako **teplota zvratu I. řádu - ϑ_I (teplota tání - ϑ_T)**.
- **Plastický stav** – další dodávkou tepla dojde již k rozrušování sekundárních vazeb v krystalické oblasti – molekuly mají možnost posuvu (skluzu) (Obr.5), při aplikaci vnější síly dochází k jejich nevratnému posuvu. Polymer vykazuje vysokou plastickou deformaci.



Obrázek 5: Posuv (skluz) molekul při působení vnější síly

Pro technologické zpracování jsou nejdůležitější:

- **teplota zvratu II. řádu (ϑ_{II})** – při teplotách vyšších než je tato teplota se provádí dloužení syntetických vláken, žehlení textilních výrobků atd;
- **teplota měknutí (ϑ_M)** – oblast termofixace, ustalování tvaru vláken v délkové a plošné textilií;
- **teplota zvratu I. řádu (ϑ_I)** - teplota tání ϑ_T [4,19].



Obrázek 6: Graf přechodové oblasti polymerů

Oblast použitelnosti polymerů:

- pod přímkou T_g je polymer křehký a tvrdý
- nad přímkou T_m je polymer viskoplastický [14]

Orientační hodnoty teplot u vybraných polymerů [14,15]

Tabulka 1: Orientační hodnoty teplot

Vlákno	$\vartheta_{II}[C^\circ]$	Žehlení max	ϑ_{M} měknutí	$\vartheta_I[C^\circ]$ tání
PES	67	150	230	258
POP	-18	130	149-154	165-170
PA 6	65	160	170	220
PA 6.6	82	180-200	235	256

Tabulka 2: Symboly doporučených teplot při žehlení [24]

	Žehlení při maximální teplotě žehlicí plochy 200°C
	Žehlení při maximální teplotě žehlicí plochy 150°C
	Žehlení při maximální teplotě žehlicí plochy 110°C, opatrně při žehlení s parou
	Výrobek se nesmí žehlit Napařování a zpracování parou je nepřípustné

2.2 Ohybová deformace při měření úhlu zotavení

Ohybová deformace plošné textilie je způsobena tvarováním plošné textilie prováděným dle požadavků technologie.

Faktory ovlivňující ohybovou deformaci jsou:

- materiálové složení plošné textilie;
- vlastnosti vláken a přízí;
- parametry konstrukce plošné textilie;
- plošná měrná hmotnost.

2.2.1 Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti materiálu vyjadřují dle [2] odezvu na namáhání vyvolané působením vnějších sil. Při působení vnější síly na textilií dochází ke změně tvaru této textilie, tzn. k její deformaci. Závislost působení síly a následná deformace je specifická pro jednotlivé druhy vláken.

Namáhání textilií se dělí podle směru působení vnějších sil na namáhání tahem, tlakem, ohybem a krutem.

Mechanická namáhání textilií působí většinou v komplexu.

Mechanické vlastnosti textilií působí nejen na základní parametry textilie, ale i na reprezentační znaky oděvu.

Odpor materiálu vůči deformaci dle[4] charakterizuje modul, definovaný jako poměr aplikovaného napětí a vzniklé deformace:

$$\text{modul} = \sigma / \varepsilon \text{ [Pa]} \quad (1)$$

kde:

- σ napětí
- ε deformace

Mechanické vlastnosti se člení dle:

- účinku vnějších sil na:
 - **deformační** - popisující průběh deformace materiálu, tyto síly mohou být elastické, viskoelastické nebo plastické;
 - **destrukční** - popisují mechanické porušení materiálu (např. pevnost či odolnost v oděru);
- četnost namáhání:
 - **prosté**;
 - **cyklické**;
- časové frekvence:
 - **statické** – velikost podnětu se v čase nemění;
 - **časově závislé** -relaxace napětí, creep;
 - **dynamické** – velikost podnětu se v čase mění;
- způsobu namáhání:
 - **jednoosé namáhání** (tah, tlak)
 - **víceosé namáhání** (krut, ohyb)

2.2.2 Deformační chování polymerů

Deformací rozumíme rozměrovou změnu tvaru v důsledku působení síly. Silové působení mění vzájemné polohy atomů, ze kterých jsou vlákna složena. Charakteristickým mechanickým projevem deformačního chování většiny vláken je časově závislá deformace.

1. Pružná deformace

-časově nezávislá, dokonale vratná.

U vysoce krystalických polymerů je velmi malá, uplatňuje se především při velmi krátkých časech měření. Pro pružnou deformaci platí Hookův zákon:

$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad (2)$$

kde:

- σ napětí [Pa]
- ϵ deformace
- E Youngův modul pružnosti [Pa]

Youngův modul pružnosti **E** vyjadřuje materiálovou konstantu, která nezávisí na velikosti deformace, ani na čase.

Deformační práce dle [15,4] spotřebovaná na převod pružného tělesa z nedeformovaného do deformovaného stavu se v tělese ukládá jako potencionální deformační energie. Při zpětném přechodu do původního stavu se tato energie uvolní (spotřebuje). Odlehčení vede k samovolnému návratu do původního stavu. Deformace nezávisí na předchozí deformační historii. Deformace není spojena se ztrátami energie, tzn. že dochází k akumulaci energie v látce a po odlehčení je tato energie spotřebována na návrat tělesa do původního stavu. U textilních vláken se tento jev prakticky nevyskytuje.

2. Viskoelastická deformace

- časově závislá, částečně vratná.

Modeluje se dle [15,4] jako kombinace pružných a plastických členů. V průběhu doby zatížení narůstá a po odlehčení postupně v závislosti na čase mizí. Při deformaci se nevratně mění mechanická energie v teplo, deformace je doprovázena ztrátou energie.

Pro deformaci viskózní látky dle [4] platí Newtonův zákon:

$$\tau = \eta \cdot d \gamma / dt \quad (3)$$

kde:

- τ napětí [Pa]
- γ deformace
- η dynamická viskozita

Napětí τ je lineární funkcí rychlosti deformace γ , dynamická viskozita η je materiálová konstanta.

Viskoelastické vlastnosti jsou pro polymerní látky typické. V procesu tvarování oděvních materiálů jsou tyto deformace velmi využívány. Vlastnosti reálných polymerů tvoří přechod mezi vlastnosti ideálních látek.

Rovnice viskoelastické látky vychází z kombinací Hookova zákona, popisující pevnou lineární elastickou látku a Newtonova zákona, který popisuje lineární viskózní kapalinu.

$$\sigma = E^* \varepsilon + \eta \cdot d \gamma / dt \quad (4)$$

kde:

- σ napětí [Pa]
- ϵ deformace
- E Youngův modul pružnosti [Pa]
- t čas [s]
- γ deformace
- η dynamická viskozita

Vlastnosti reálné viskoelastické látky dle [4]:

- pamatuje si předchozí deformační historii;
- po zatížení vzniká okamžitá deformace i deformace časově závislá;
- část deformační práce je akumulována, část je přeměněna v teplo;
- po odlehčení látky nedochází zcela k navrácení do původního stavu a proto je tato vlastnost technologicky často využívána při žehlení a tvarování oděvních výrobků.

3. Plastická (trvalá) deformace

- časově závislá, dokonale nevratná

Plastická deformace je způsobena nevratným prokluzem segmentů makromolekul.

2.2.3 Vlastnosti textilií ovlivňující mechanické vlastnosti plošných textilií

Ohybová deformace při tvarování a následná relaxace plošné textilie je ovlivňována jak vlákny a přízí, tak i samotnou plošnou textilií. Jejich vlastnosti na sebe navzájem působí a ovlivňují výsledek celého procesu.

Plošná textilie dle [3] je sestavou přízí, které mají značnou plochu povrchu s ohledem na jeho tloušťku a dostačující mechanickou pevnost, dávající sestavě vnitřní soudržnost. Vnitřní soudržnost je dána vazbou tkaniny a vzájemným třením textilních prvků.

Textilní materiály dle [3] vykazují viskoelastické vlastnosti. Viskoelastické chování textilních materiálů je způsobené anizotropním uspořádáním molekul, na které působí makroskopická mechanická síla. Působící síla může vyvolat změny v makromolekulárním uspořádání, zatímco chemické složení zůstane stejné.

Po odlehčení, resp. při relaxaci, je potencionální energie přetvořena na pohybovou energii. Textilie má sklon obnovit originální tvar a velikost. Část energie, která je rozptýlená ve formě tepla, způsobuje plastickou deformaci.

Výsledná deformace závisí na síle trvání zátěže a také na relaxační době. Takovéto nelineární chování je způsobeno změnou struktury v textilií v průběhu trvání deformace.

2.2.3.1 Charakteristika vlákna a jeho vliv na ohybovou deformaci plošné textilie

Vlákno je základní textilní prvek. Vlákno má vliv na vlastnosti příze, která je něj vyrobena a následně také na vlastnosti plošné textilie.

Vlákenná struktura dle [15] vzniká vlivem nevratné orientace makromolekul podél osy vláken a částečnou krystalizací (tj. třírozměrným uspořádáním). Základní prvek je mikrofibrila, která je typická pravidelným střídáním amorfních a krystalických oblastí. Mikrofibrily se shlukují do vyšších útvarů „fibrila jsou vzájemně propojeny vaznými řetězci. Vlákenná struktura je typická pro jak pro přírodní, tak i syntetická vlákna. Vlastnosti vláken jsou ovlivněny částečně krystalickou strukturou (většina vláken se řadí mezi lineární semikrystalické polymery).



Obrázek 7: Struktura vláken

Vlákna s vyšší krystalitou a orientací makromolekul dle [21] (např. přírodní celulósová vlákna stonková) vykazují nízkou tažnost a ohebnost, zatímco vlákna s množstvím neuspořádané struktury (např. přírodní vlákna bílkovinová či polyuretanová vlákna) vykazují vysokou tažnost a pružnost.

Ohebnost vláken dle [15] ovlivňuje formování přízí. Ohebnost vláken souvisí modulem pružnosti E a momentem setrvačnosti příčného řezu I.

Tloušťka vláken ovlivňuje ohyb vláken. Tloušťka vláken se pohybují v rozmezí 10-40 μm , u přírodních a u syntetických vláken v rozmezí 10-25 μm . Vlákná o tloušťce kolem 30-40 μm jsou příliš tuhá a neohebná.

Pro vyjádření tloušťky vláken se používá tzv. jemnost vláken. Udává se v jednotkách Tex.

Délka vláken

Délka vláken ovlivňuje ohybové vlastnosti příze. Jedná se zejména o tření vláken v přízi. Staplová vlákna vykazují větší vzájemné tření oproti nekonečným vláknům.

Deformační chování vláken

Z mechanického hlediska dle [15] je většina vláken nelineární viskoelastické těleso. Vlákná vykazují okamžitou elastickou odezvu na působící napětí, viskoelastickou časově závislou odezvu a trvalou plastickou deformaci.

Vlákná mají schopnost relaxace napětí vedoucí ke stabilizaci požadovaného tvaru.

Dělení vláken dle schopnosti relaxace dle [12]:

1. vlákno s dobrým pružným zotavením, s malou časovou závislostí – PES, vlna;
2. vlákno s dobrým pružným zotavením, s velkou časovou závislostí – POP;
3. vlákno se horším pružným zotavením, s velkou časovou závislostí – hedvábí VS;
4. vlákno s horším pružným zotavením, s malou časovou závislostí – bavlna.

2.2.3.2 Charakteristika příze a její vliv příze na ohybovou deformaci plošné textilie

Příze jsou délkové textilie vyrobené z vláken. Průřez příze má přibližně kruhový tvar.

Vlastnosti přízí jsou dané vlastnostmi vláken, takovými jako jsou délka, jemnost, pevnost a charakteristika povrchu vláken. Dále jsou vlastnosti přízí závislé také na

technologickém postupu předení. Vlastnosti přízí výrazně ovlivňují kvalitu plošných textilií, které jsou z nich vyrobeny.

Hlavními parametry příze dle [1] jsou druh použitých vláken, jemnost příze a zákrut příze.

Jemnost příze

Jemnost příze ovlivňuje ohybovou deformaci. Příze větší tloušťky vykzují větší ohybové deformace než v případě jemnějších přízí.

Zákrut příze

Zákrut příze dle [8,20] tvoří zpevnění vláken ve vlákenném svazku a zvýšení jejich kontaktů. Zákrutem vzniká vzájemné přitlačení vláken k sobě a tím je také zvýšeno tření mezi vlákny. Zákrut se provádí jak u krátkých vláken střížových, která musí být před zakroucením urovnána do rovnoběžné polohy, tak i u vláken dlouhých – tzv. hedvábí.

Zákrut příze vlivem vzniklých třecích sil mezi vlákny dává přízi mechanické vlastnosti jako pevnost, pružnost, ohebnost. Čím větší množství zákrutů na určitou délku příze má, tím je příze pevnější, ale také tvrdší.

Mechanické vlastností přízí jsou dány mechanickými vlastnostmi vláken, ze kterých je příze vyrobena.

Pružnost příze

Pružnost příze je dána pružností vláken a zákrutem příze.

Tření vláken v přízi

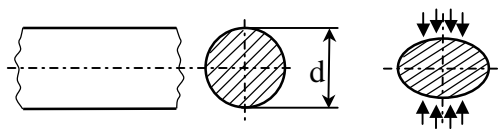
Při ohybové deformaci plošných textilií dochází v přízi ke tření vláken. Velikost tření je do jisté míry ovlivňována zákrutem příze.

Tření vláken v přízi má vliv na následnou relaxaci plošné textilie. Při větším tření vláken v přízi je relaxace plošné textilie zhoršená.

Deformace průřezu

Při ohybu příze dle [9] dochází u vnější vláken k jejich protažení a u vnitřní k jejich zkrácení.

Takto vzniklé napětí deformuje původně kruhový průřez příze o průměru d na přibližně eliptický průřez (Obr.8).



Obrázek 8: Vliv ohybu na deformaci průřezu

2.2.3.3 Charakteristika plošné textilie a její vliv na ohybovou deformaci plošné textilie

Plošné textilie- tkaniny dle [1] jsou tvořeny provázáním dvou soustav nití (Obr.9). Vlastnosti plošné textilie jsou dány vlastnostmi vláken a strukturou příze, z nichž je plošná textilie vyrobena, konstrukcí plošné textilie a úpravou plošné textilie.

Hlavními parametry plošných textilií ovlivňující ohybovou deformaci je dostava, plošná měrná hmotnost a ohybová tuhost.



Obrázek 9: Průřez plošnou textilií

Dostava

Dostava ovlivňuje ohybové deformace zvláště při vyšší hustotě provázání. Tkanina v tomto případě je tužší a hůře tvarovatelná. Tkaniny s vyšší dostavou vykazují vyšší hodnoty tuhosti.

Plošná měrná hmotnost

Plošná měrná hmotnost ovlivňuje ohybovou deformaci typem tkaniny, což znamená, že tkanina typu těžká plošná měrná hmotnost má horší ohybové vlastnosti než tkanina typu lehká plošná měrná hmotnost.

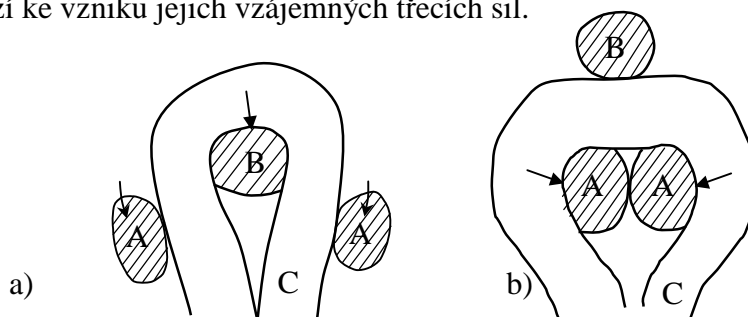
Ohybová tuhost

Tuhost v ohybu dle [18] je odolnost plošné textilie vůči ohýbání. Tento odpor je součtem třecích a soudržných sil, které při ohybu vznikají mezi vlákny a mezi nitěmi ve vazných bodech.

Na ohybovou deformaci plošné textilie má zásadní vliv vzájemné tření přízí a pružnost příze.

Tření přízí

Při ohybové deformaci dle [12] dochází ve vazných bodech k posuvu přízí, čímž dochází ke vzniku jejich vzájemných třecích sil.



Obrázek 10: Průřez přízemi v místě ohybu

V místě ohybu se stavy a) a b) objevují střídavě (Obr.10). Vznikají dva typy posuvu:

- stav a): příze A přiléhá k přízí C, při ohybové deformaci dojde k jejímu klouzání - posunu ve směru šipky. Příze B je při ohybové deformaci stlačována přízí C.
- stav b): příze A je obklopena přízí C, v důsledku čehož dojde uvnitř ke stlačování příze A.

V procesu zotavení ohybu, mají tyto posuvy tendenci vrátit se do původního stavu, ovšem pod vlivem třecích sil přízí je relaxační proces ztížený.

Tkaniny s vysokou ohybovou tuhostí a nízkým vnitřním třením inklinují k většímu úhlu zotavení a mají větší odpor k ohybové deformaci.

3 Metoda měření úhlu zotavení

Metody zjišťující úhel zotavení textilií využívají působení větších sil. Tyto síly vyvolávají v textiliích plastické (nevratné) deformace.

Deformace je součtem elastických a plastických deformací a případně jejich zotavení podle vztahu:

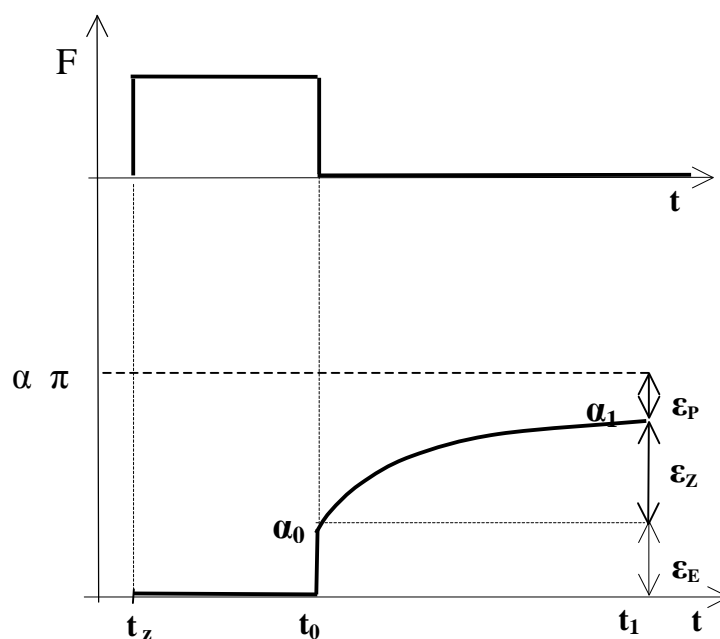
$$\varepsilon_C = \varepsilon_E + \varepsilon_P + \varepsilon_Z \quad [\%]$$

ε_C - je celková deformace [%]

ε_E - je elastická deformace [%]

ε_P - je plastická deformace [%]

ε_Z - je zotavená deformace [%]



Obrázek 11.: Křivka průběhu deformace (úhlu zotavení) - mezní úhel zotavení je π , tj. 180° .

Deformace textile a její zotavení dle [8,20] vychází ze simulace, při níž je proužek textile o rozměrech 20x 50 mm ohnut a následně zatížen žehličkou o hmotnosti m , která vytvoří zatížení silou F při dané teplotě a čase.

Při zatížení textile dochází pod vlivem působení vnějších sil k ohýbání vláken a následně k přestavbě vnitřní struktury. Tímto způsobem je prostřednictvím vláken ovlivněna plošná textile a dochází tak k její deformaci. Zároveň se pod vlivem tepelného působení na textilií mění vlastnosti a struktura vláken.

Zatížení působí na materiál po dobu t_z (Obr.11). Po uplynutí této doby je proužek odlehčen. Okamžik odlehčení je označen jako čas t_0 . V následujících časových intervalech je prováděno snímání relaxace proužku textile.

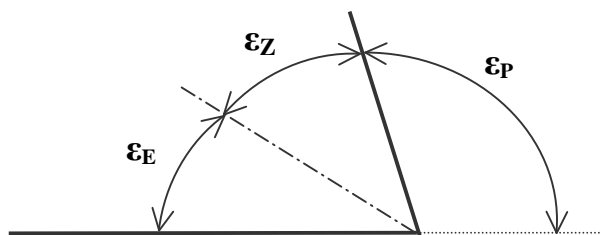
V čase t_0 se proužek narovná o určitý úhel α_0 , který je obrazem **okamžité elastické deformace** ε_E .

Okamžitá elastická deformace, je závislá především na teplotě žehličky, velikosti působící síly F a zatěžovacím čase ($t_z - t_0$).

V dalších časových úsecích, počínaje časem t_0 , dochází k zotavení proužku textile, které je zakončené, když $\alpha = \text{konst.}$ – v čase t_1 .

Hodnota ($\alpha_1 - \alpha_0$) je definována jako **úhel elastického zotavení** ε_z . Zotavená elastická deformace je charakterizována zotavovací schopností textile.

Zbytkový úhel $\alpha_p = (\pi - \alpha_1)$ je v plošné textilií trvalý a je definován jako **plastická deformace** ε_p . Plastická deformace závisí na množství vazeb ve vláknech, přízi a plošné textilií, jež byly trvale přestavěny (Obr.12).



Obrázek 12: Znáznornění průběhu deformací

3.1 Metody zjišťování úhlu zotavení

Metod pro zjišťování úhlu zotavení jsou určeny k měření mačkovosti.

Některé z těchto metod lze použít i k zjišťování úhlu zotavení po tvarovacím procesu.

Tyto metody budou následně popsány a porovnány v experimentální části.

Jedná se o metody snímání úhlu zotavení digitálním fotoaparátem a o měření úhlu zotavení pomocí ručního úhloměru a pomocí programu NIS-Elements. V experimentální části byly navrženy další dva nové způsoby měření úhlu zotavení. Metoda, které není použita a popsána v experimentální a je může být použita k měření úhlu zotavení po tvarování je metoda měření úhlu zotavení na přístroji UMAK.

3.1.1 Metoda měření úhlu zotavení na přístroji UMAK

Metoda měření úhlu zotavení na přístroji UMAK dle [25] je převážně určena k měření mačkovosti. Lze ji ovšem použít i k měření úhlu zotavení, tím způsobem, že místo zatížení vzorku závažím použijeme žehličku. Teplota žehličky a doba působení na vzorek je stanovena individuálně dle potřeb experimentu.

Přístroj UMAK se skládá ze základového nosníku s upínacími čelistmi pro 10 vzorků. Dále je přístroj opatřen pojízdnou měřicí hlavou. Pojízdna měřicí hlava má kruhovou stupnici s dělením na stupně. Středem stupnice je na skle vyznačena měřicí ryska, která slouží k měření úhlu zotavení.

Zkouška se provádí tím způsobem, kdy vzorek o velikosti 50x20 mm je upnut do přístroje a zatížen žehličkou. Po odstranění žehličky je úhle zotavení snímán v daných časových intervalech mezi vodorovnou základnou a volným ramenem pomocí měřicí pojízdné hlavy. Vzhledem k tomu, že vzorek může mít v průběhu zotavení různé tvary a sklon, měří se úhle předního i zadního okraje vzorku. Z těchto hodnot je vypočtena průměrná hodnota úhlu zotavení v daném čase měření. Tímto způsobem se provádí další měření, počet měření je závislý na stanovených časových intervalech měření.

Hodnoty jsou uživatel zaznamenány a následně zpracovány. Je vypracován např. graf úhlu zotavení v daném časovém intervalu.

Tato metoda je vcelku nenáročná, ale přesnost měření je závislá na rozsahu měřidla- úhloměru, tzn. že přesnost této metody je $\pm 0,5^\circ$.

4 Síly ovlivňující ohybovou deformaci plošné textilie

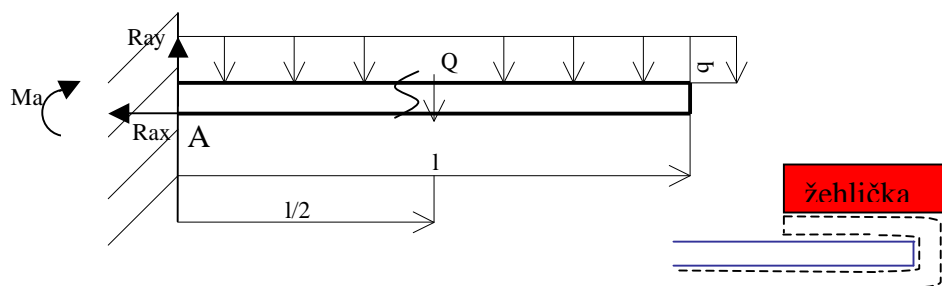
Při přehnutí a zatížení vzorku žehličkou působí na vzorek síly, které vyvolávají deformaci vzorku. Zvláště v místě ohybu je plošná textilie nejvíce namáhána a to tak, že na vnitřní straně vzorku jsou vlákna a příze stlačovány, tzn. působí zde tlak a na vnější straně vzorku jsou vlákna a příze napínány, tzn. působí zde tah.

4.1 Ohyb vetknutého nosníku – proužku textilie

Ohyb je dle [22] druh namáhání při němž se působením vnějších zatížení původně přímý prut (proužek textilie) zakřivuje do rovinné či prostorové křivky. Pojem nosník označuje přímou tyč nebo prut (proužek textilie), jehož příčný průřez je mnohem menší než jeho délka, který je namáhán převážně na ohyb.

Nosníky zatíženy spojitým zatížením q (Obr.13). Zatížení je spojitě rozloženo po délce nosníku a jeho velikost udáváme jako velikost síly, působící na délkovou jednotku nosníku.

V tomto případě je proužek textilie zatížen po celé ploše žehličkou.



Obrázek 13: Vetknutý nosník se spojitým zatížením

Výpočet reakcí:

$$R_{ax} = 0$$

$$-q \cdot l + R_{ay} = 0 \Rightarrow R_{ay} = q \cdot l$$

$$-(q \cdot l) \cdot \frac{l}{2} + M_a = 0 \Rightarrow -(q \cdot l) \cdot \frac{l}{2} = -M_a \Rightarrow$$

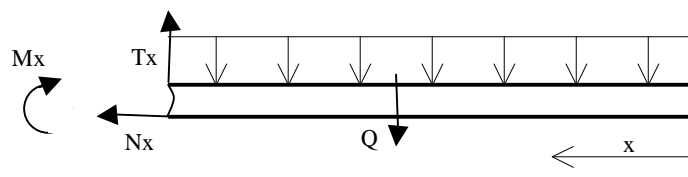
$$M_a = \frac{q \cdot l \cdot l}{2} \Rightarrow M_a = \frac{q \cdot l^2}{2}$$

$$x \in (0; l)$$

$$N_x = 0$$

$$T_x = q \cdot x$$

$$M_0(x) = -\frac{q \cdot x^2}{2}$$



Obrázek 14: Řez vetknutého nosníku se spojitým zatížením

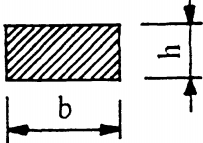

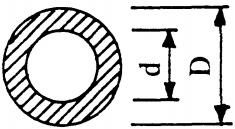
Napětí v ohybu lze vypočítat, pokud ohybový moment působící v namáhaném průřezu vydělíme modulem průřezu v ohybu.

$$\sigma = M_o / W_o \text{ [Mpa]} \quad (5)$$

kde:

- R_{ax} reakce v bodě A v ose x [N]
- R_{ay} reakce v bodě A v ose y [N]
- M_a moment v bodě A [Nm]
- M_x moment v místě řezu [Nm]
- l délka vzorku [m]
- q spojitě zatížení [N/m]
- T_x tečná síla v místě řezu [N]
- N_x normálová síla v místě řezu [N]
- W_o modulem průřezu v ohybu [mm³]
- M_o ohybový moment [Nm]
- σ napětí [Pa]

Tabulka 3: Průřezové veličiny

Tvar průřezu	Průřezový modul [mm ³]
	$W_o = \frac{1}{6} b h^2$
	$W_o = \frac{\pi}{32} d^3 = 0,1 d^3$
	$W_o = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D}$

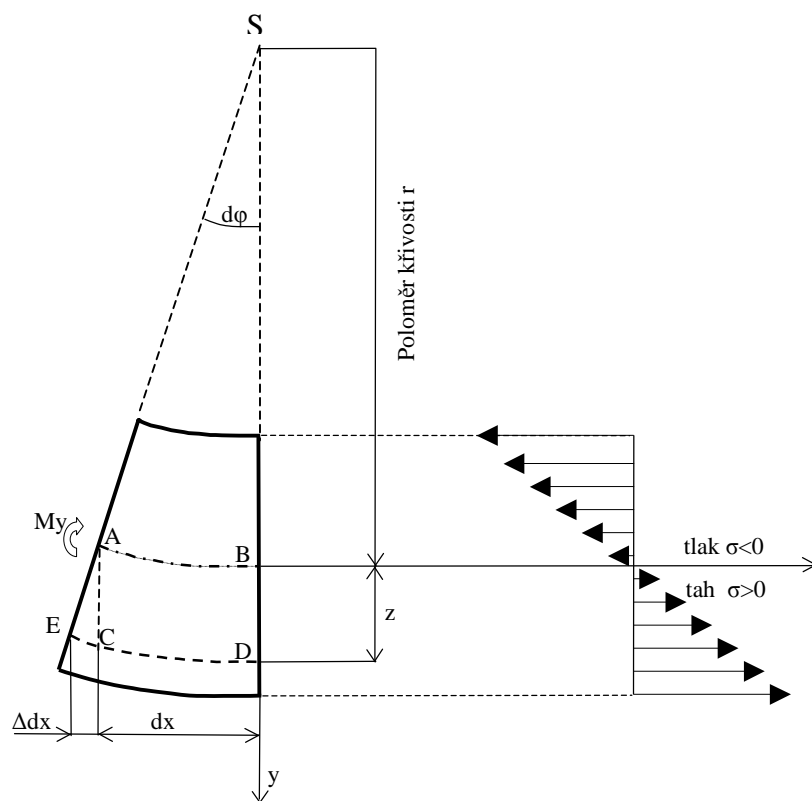
Relaxace po odstranění zátěže

Po odstranění zátěže proužek relaxuje. Snaží se zaujmout svou původní polohu. Proužek textilie vykazuje viskoelastické chování. V určité oblasti dochází k pomalému zastavení relaxace a napětí postupně vymizí. Proužek textilie zůstává deformován, dochází k tzv. plastické deformaci.



Namáhání vlákna v ohybu

Úsek prutu o délce dx . Vlivem ohybu se průřezy vzájemně pootočí o úhel $d\varphi$, na spodní straně, je-li $M_y > 0$ se vlákna prodlouží a na horní straně se zkrátí (Obr.15). V určité úrovni je tedy neutrální vrstva, jejíž délka zůstane zachována, její poloměr křivosti označíme r . neutrální vrstva prochází těžištěm průřezu, tedy osou x . [13,22]



Obrázek 15: Deformace a napětí při ohybu

$$dx = A\bar{B} = r \cdot d\varphi$$

$$dx' = C\bar{E} = (r + z) \cdot d\varphi$$

$$\Delta dx = D\bar{E} = dx' - dx = (r + z) \cdot d\varphi - r \cdot d\varphi = z \cdot d\varphi$$

poměrné prodloužení vláken

napětí

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta dx}{dx} = \frac{z \cdot d\varphi}{r \cdot d\varphi} = \frac{z}{r} = z \cdot r^{-1}$$

$$\sigma_x = E \cdot \varepsilon_x = \frac{E \cdot z}{r}$$

Při deformaci nosníků dochází k lineární deformaci, vzhledem k nelinearitě plošné textilie, nelze toto vyjádření pomocí nosníku použít.

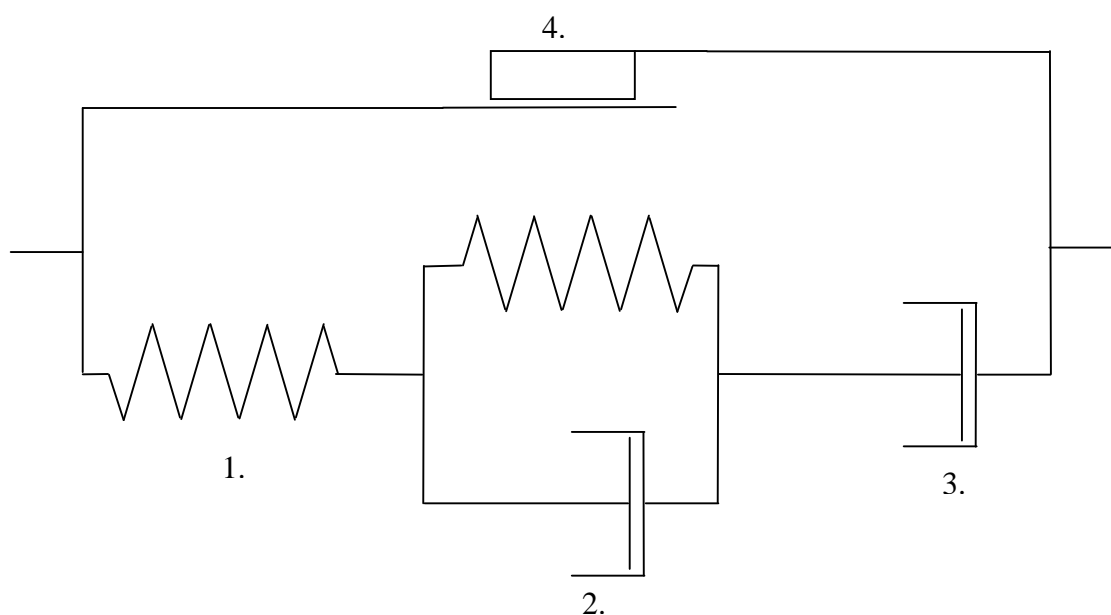
Pro řešení problému působících sil ovlivňujících ohybovou deformaci bylo navrženo řešení pomocí reologických modelů dle [17].

4.2 Model zotavení tkanin po ohybové deformaci

Dle [17] vstupuje do modelu několik členů současně (Obr.16).

Model se skládá z pružiny 1., která vyjadřuje vratnou deformaci. Opožděnou elastickou deformaci vyjadřuje model Kelvina-Voigta 2.

Plastická deformace je vyjádřena pístem 3., mezivláknenné tření představuje třecí prvek 4.



Obrázek 16: Model zotavení tkanin po ohybové deformaci

5 Experimentální část

Experimentální část této práce byla zaměřena na navržení metod měření a vyhodnocení úhlu zotavení textilií.

V rámci uskutečňování experimentu byly realizovány navržené vyhodnocovací metody a jejich výsledky byly následně vzájemně porovnány a vyhodnoceny.

Metody byly zaměřeny na vyhodnocení úhlu zotavení nasnímaného pomocí digitálního fotoaparátu.

Zaměření experimentu:

- snímání úhlu zotavení pomocí digitální fotoaparátu Olympus...
- vyhodnocení úhlu zotavení z nasnímaných fotografií pomocí následujících prostředků:
 - ruční úhloměr;
 - program Corel draw 9;
 - program Lucie NIS – Elements AR;
 - program Matlab 7
- vzájemné porovnání použitých metod

Experiment byl proveden pomocí těchto pomůcek:

- digitální fotoaparát Olympus C-760;
- stůl se zařízením na uchycení vzorku textilie;
- PC – softwarově vybavený k příslušnému propojení s fotoaparátem a k následnému měření a vyhodnocení digitálních fotografií;
- ruční úhloměr – pro ruční měření úhlu zotavení na vytisknuté digitální fotografii.

K experimentu bylo použito následující softwarové vybavení :

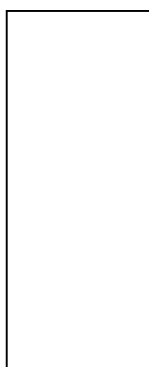
- Cam2Com 2.2.0.25;
- Matlab 7;
- Corel draw 9;

- NIS – Elments AR;
- Microsoft Excel 2000 9.0.2812.

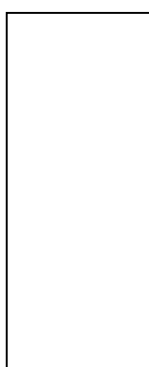
5.1 Použité plošné textilie

vzhledem k zaměření experimentu nebyl kladen důraz na použité plošné textilie, z toho důvodu byly plošné textilie vybrány náhodně.

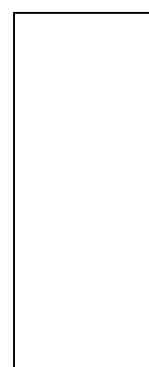
Vzorek č.1



Vzorek č.2



Vzorek č.3

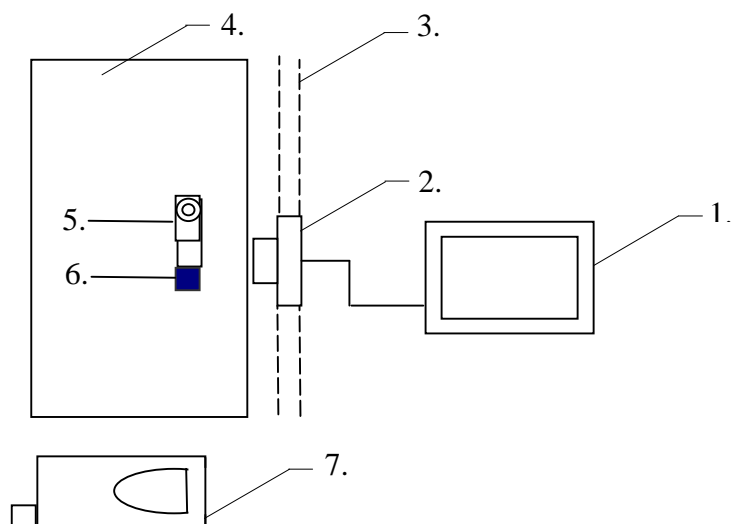


5.2 Příprava vzorku a snímání úhlu zotavení pomocí digitálního fotoaparátu a PC

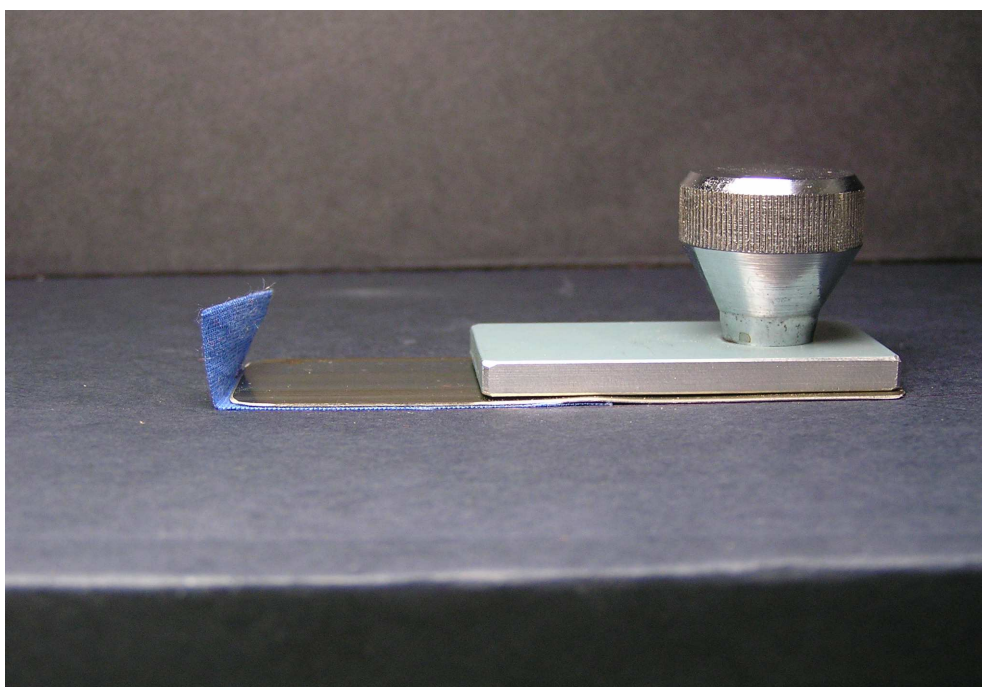
Snímání úhlu zotavení pomocí digitálního fotoaparátu bylo provedeno na katedře KOD, a to pomocí zařízení určeného ke snímání úhlu zotavení (Obr.17,18). Toto zařízení bylo na katedře KOD vyvinuto.

Popis zařízení a pomůcek potřebných ke snímání úhlu zotavení:

1. PC;
2. digitální fotoaparát na pojízdném zařízení;
3. uchycení digitálního fotoaparátu;
4. stůl;
5. zařízení pro uchycení vzorku textilie;
6. vzorek textilie;
7. žehlička s generátorem a termostatem;



Obrázek 17: Schématický popis experimentu



Obrázek 18: Zařízení pro uchycení vzorku textile použité na hodnocení úhlu zotavení

Příprava vzorku:

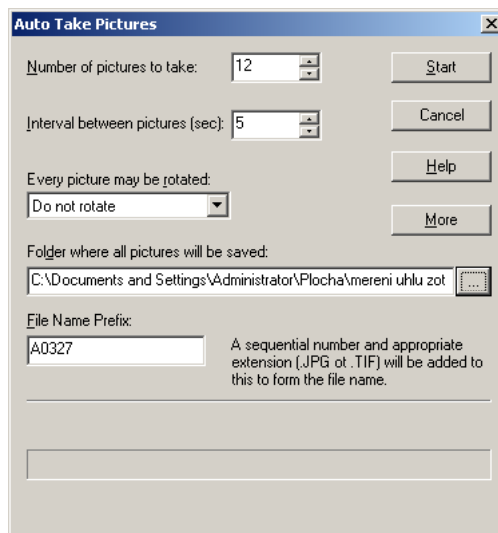
Vzorek o velikost 50x20 mm byl připevněn do zařízení pro uchycení vzorku tak, že okraj vzorku byl umístěn rovnoběžně s krajem přitlačné destičky. Vzorek vyčníval 10mm před přitlačnou destičku. Poté byl vzorek pomocí šroubu připevněn přitlačnou destičkou.

Následně byla vyčnívající část vzorku přehnuta přes přitlačnou destičku a zatížena žehličkou po dobu 20 s při teplotě 110 °C. Po odstranění žehličky následovalo snímání úhlu zotavení pomocí digitálního fotoaparátu.

Snímání úhlu zotavení:

Snímání úhlu zotavení bylo provedeno pomocí digitálního fotoaparátu připojeného k PC. Digitální fotoaparát byl přichycen na přídavné zařízení a tím bylo zabráněno jeho nežádoucímu pohybu, který by ohrozil kvalitu snímání.

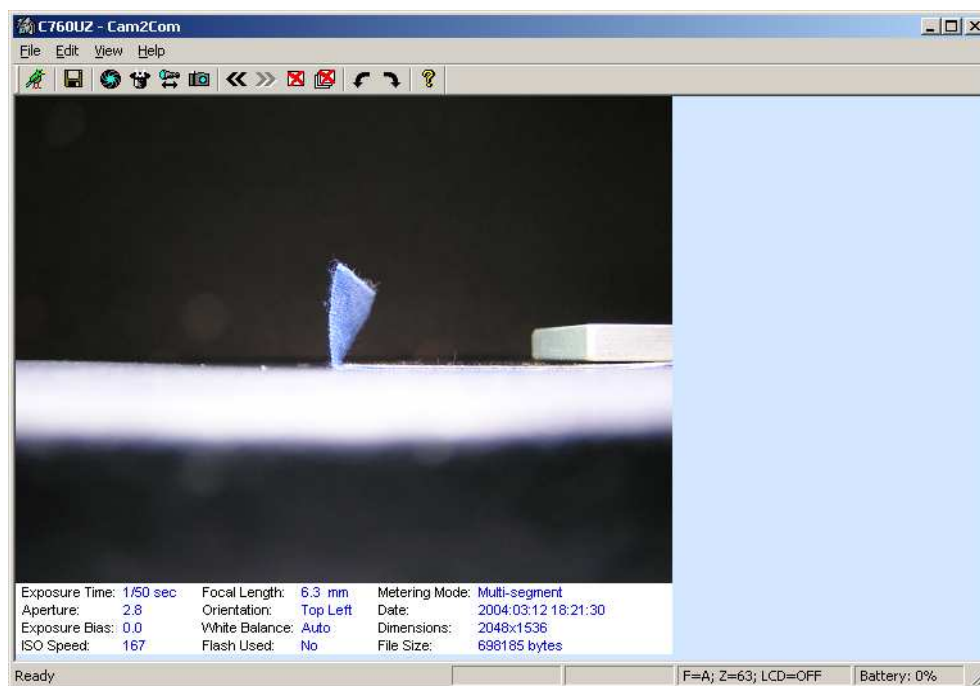
Snímání fotografií bylo provedeno pomocí programu Cam2Com 2.2.0.25. V tomto programu lze nastavit počet snímání v požadovaném čase.



Obrázek 19: Tabulka pro nastavení počtu fotografií v požadovaném čase

V experimentu bylo nastaveno automatické snímání 12. fotografií v první minutě (Obr.19), v následujících měření byly snímány fotografie obsluhou, která měřila požadovaný čas snímání pomocí ručních stopek. Snímání bylo prováděno v intervalech 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 300, 600, 1200, 1800, 2400, 3000, 3600 s.

Použití programu Cam2Com 2.2.0.25 bylo velmi výhodné a mělo kladný vliv na kvalitu fotografií. Nedocházelo k přímému kontaktu obsluhy a fotoaparátu, čímž bylo zamezeno jakémukoli nežádoucímu pohybu s fotoaparátem. Snímání (mačkání spouště) bylo provedeno kliknutím na příslušnou ikonu.



Obrázek 20: Výsledná fotografie

Po dokončení snímání byly fotografie uloženy obsluhou do příslušné složky.

Pro požadovanou kvalitu fotografií k následnému zpracování a změření úhlů zotavení v programu Matlab bylo nutné, aby podklad a zadní stěna zařízení byly z jednobarevného matného materiálu, čímž se zamezilo vzniku nežádoucích odlesků, které by zkreslily výsledné zpracování a měření pomocí obrazové analýzy v prostředí programu Matlab. V experimentu byl jako podklad a zadní stěna použit černý tvrdý papír.

5.3 Metody použité k hodnocení úhlu zotavení

Metody, použité v experimentu, se od sebe lišily jak v softwarovém vybavení, tak v délce měření, ale také v přesnosti měření.

Přesnost a rychlost měření úhlu zotavení pomocí programu Matlab byla ve velké míře dána samotným programem, protože u této metody dochází k měření úhlu zotavení po načtení fotografie automaticky. Hlavní požadavek u této metody byl kladen na kvalitu digitálních fotografií, která má velký vliv na přesnost zpracování měření.

U dalších metod jako je měření pomocí programů Corel draw a NIS-Elements či ručního úhloměru, obsluha měří sama úhel zotavení a proto v těchto případech může

docházet k nepřesnostem při umístění ramen určující úhel zotavení. U těchto metod tak zásadní požadavek na kvalitu fotografií.

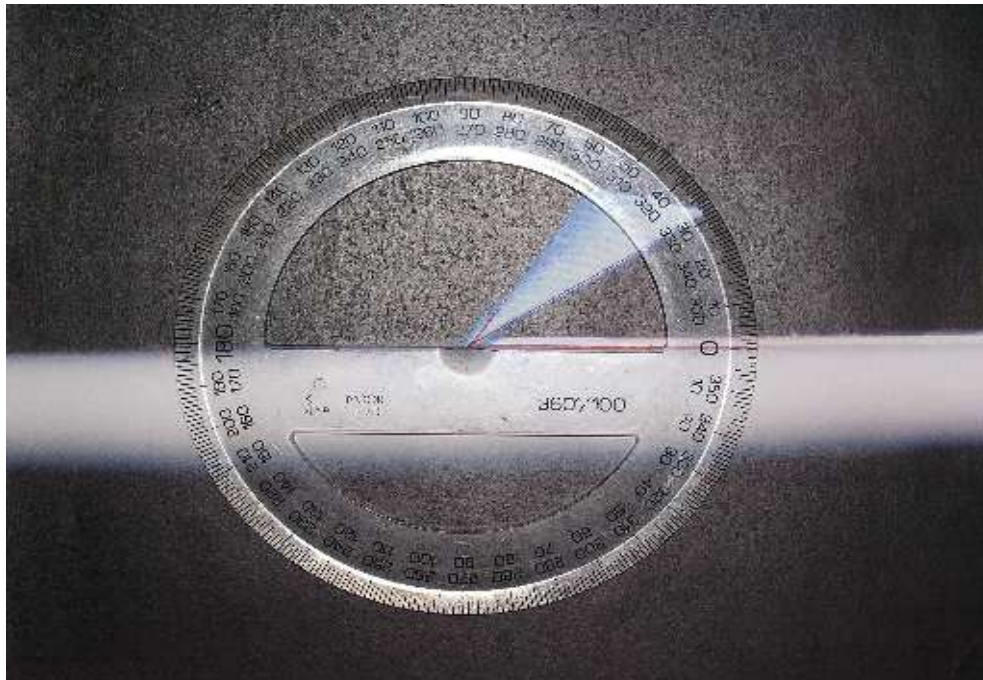
5.3.1 Měření úhlu zotavení pomocí ručního úhloměru

Měření úhlu zotavení pomocí ručního úhloměru byla nejdostupnější metoda měření. K provedení měření dle této metody byl zapotřebí pouze ruční úhloměr a sada vytištěných fotografií pořízených během snímání úhlu zotavení (Obr.21).

Měření bylo provedeno prostřednictvím zakreslení přímky, procházející rovnoběžně s přítlačnou destičkou a následného zakreslení další přímky, vycházející z pravého horního bodu a procházející rovnoběžně s hranou textilie. Takto byl zakreslen pravý úhel α . Levý úhel β byl zakreslen tak, že z horního levého bodu byla vedena přímka do již vzniklého průsečíku úhlu α .

Po zakreslení přímek, určující úhly α a β , bylo provedeno měření ručním úhloměrem. Výsledný úhel zotavení byl vypočítán jako průměr úhlů α a β .

Následné zpracování dat a vykreslení grafu úhlu zotavení bylo provedeno pomocí programu Microsoft Excel.



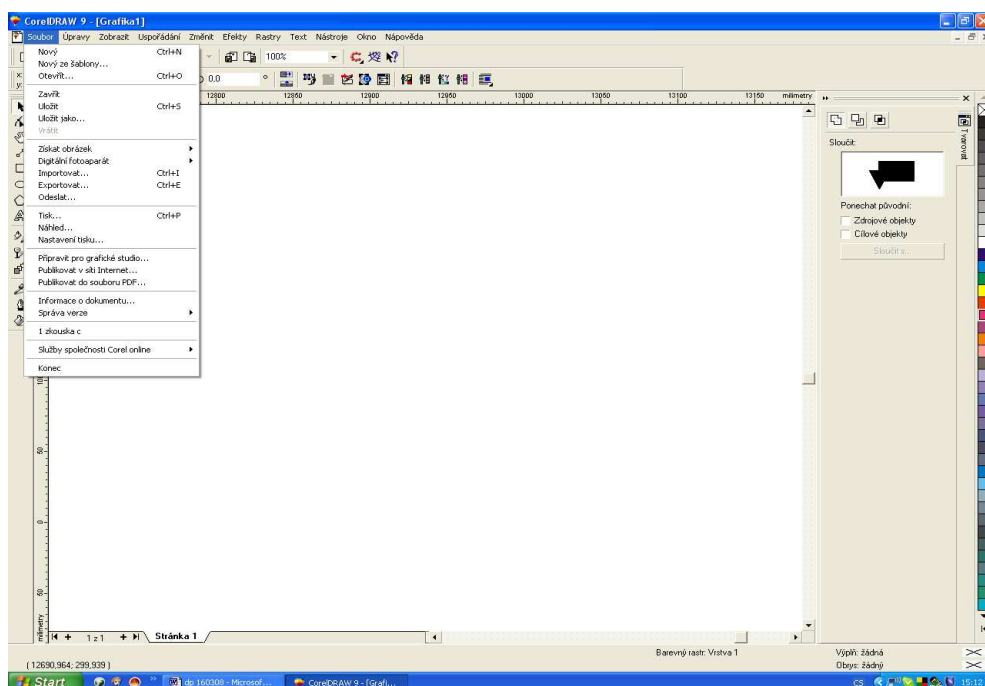
Obrázek 21: Měření úhlu zotavení pomocí ručního úhloměru

5.3.2 Měření úhlu zotavení pomocí programu Corel draw 9

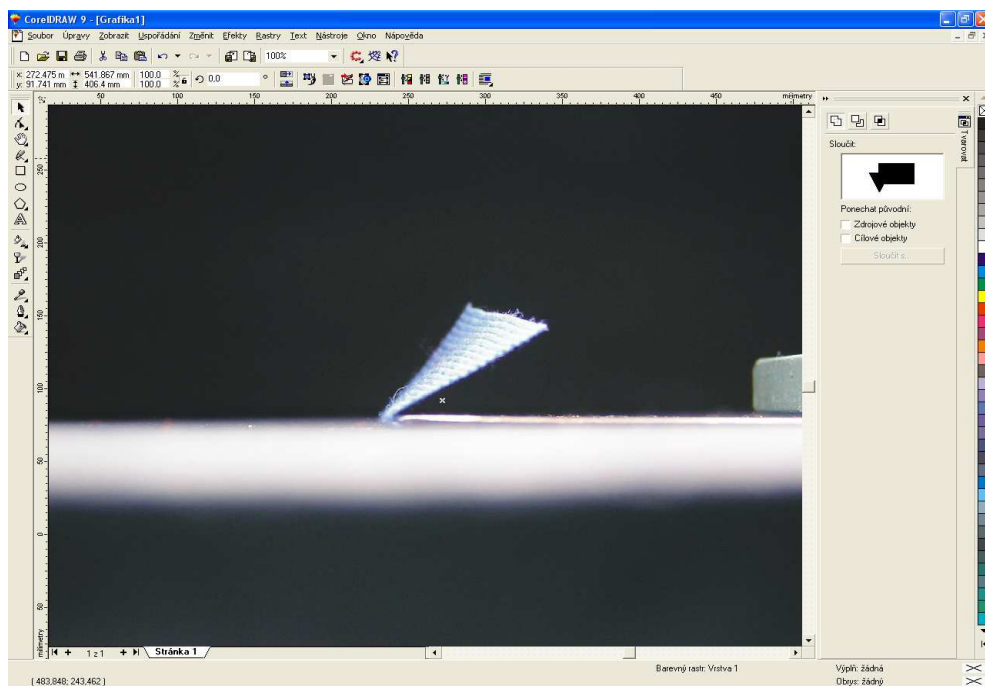
Program Corel draw 9 se řadí do skupiny grafických programů. V experimentu byl tento program použit vzhledem ke své funkci, umožňující měřit na digitální fotografii stupně.

1. Načtení a importování digitální fotografie

Prvním krokem po otevření programu je vyhledání požadovaného souboru s fotografiemi a importování požadované fotografie (Obr.22, 23).



Obrázek 22: Soubor importovat



Obrázek 23: Fotografie importována

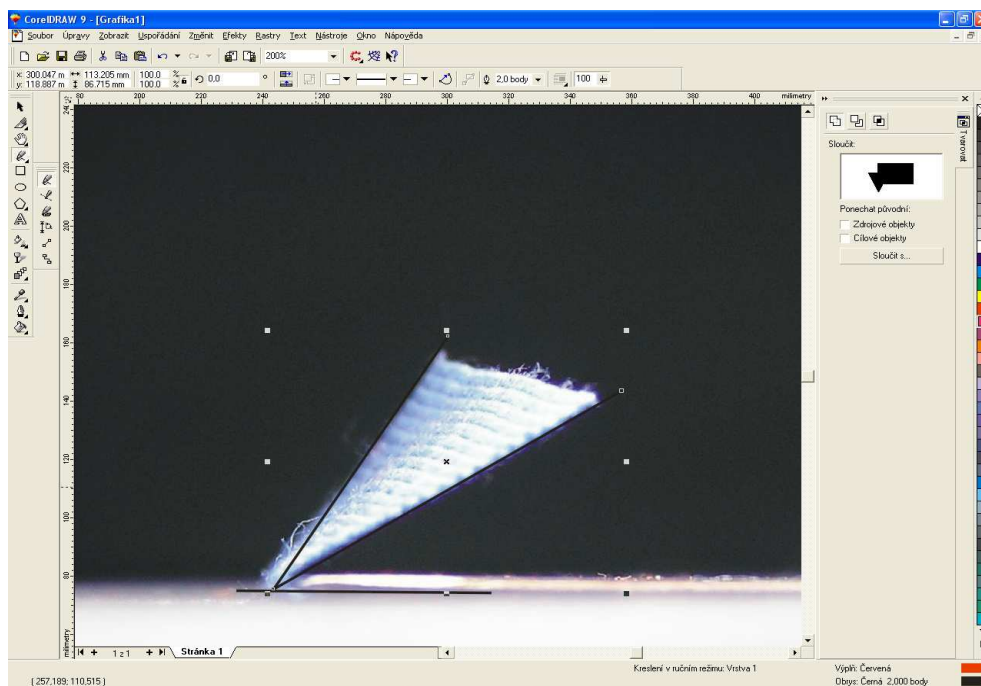
2. Postup měření úhlů zotavení

Po načtení (importování) fotografie bylo za účelem přesnější měření fotografii použito zvětšení zpracovávané fotografie na 200%.

Pomocí programového nástroje „Ruční režim“ byla vybrána funkce spojovací čára. Pomocí této funkce byla vytvořena přímka rovnoběžná s přítlačnou destičkou. Po vytvoření rovnoběžné přímky byla použita programová funkce „Nástroj ruční režim“. Pomocí této funkce byla umístěna přímka na základní rovnoběžnou přímku, a to od místa dolního ohybu do pravého horního bodu ramene. V této fázi byl měřen pravý úhel α (Obr.24). Měřený úhel α byl zaznamenán na spodní liště (Obr.25).

V následujícím kroku byl obdobným postupem změřen úhel β , jen s tím rozdílem, že pomocí programové funkce „Nástroj ruční režim“ byla přímka vedena z místa průsečíku určující úhle α do místa levého horního bodu ramene. Po umístění přímky byl měřený úhel β zaznamenán na spodní liště (Obr.26).

Naměřené hodnoty bylo nutné vždy zaznamenat ručně, protože automatické zaznamenávání těchto dat program neobsahuje.



Obrázek 24: Dolní přímky, pravé a levé rameno

X:112,344 mm Y:66,966 mm Vzdálenost: 130,789 Úhel: 30.799

Obrázek 25: Dolní lišta s úhlem α

X:58,371 mm Y:87,356 mm Vzdálenost: 105,063 Úhel: 56.249

Obrázek 26: Dolní lišta s úhlem β

Následné zpracování dat a vykreslení grafu úhlu zotavení bylo provedeno pomocí programu Microsoft Excel.

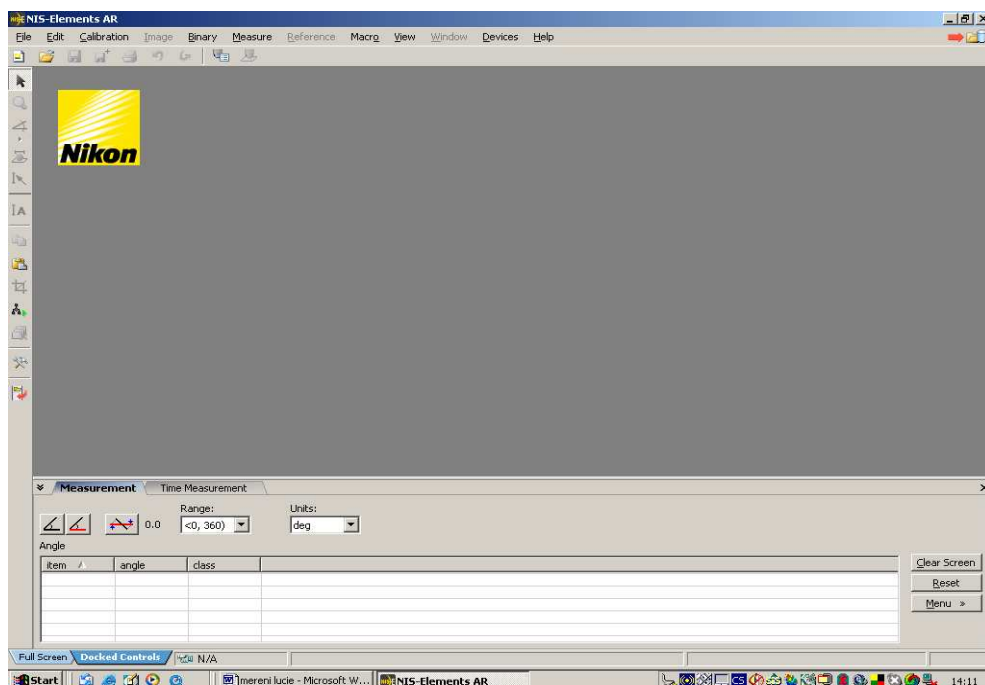
5.3.3 Měření úhlu zotavení pomocí programu NIS – Elements

Program NIS - Elements AR slouží ke zpracování obrazu.

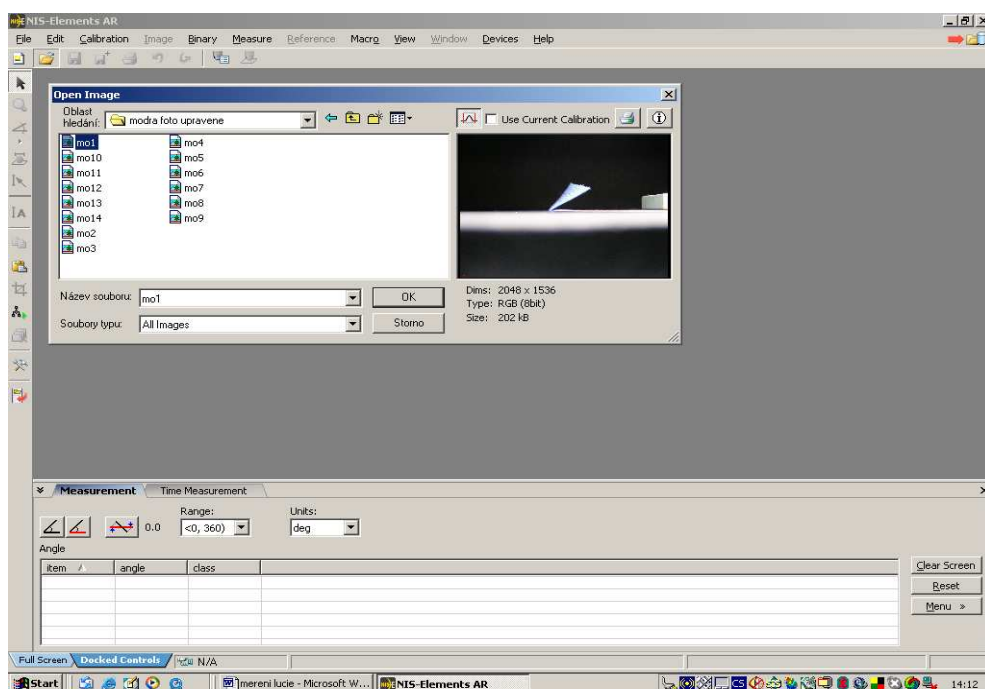
V experimentu byl použit vzhledem ke své funkci, umožňující měřit stupně na digitální fotografii. Tento program umožňuje automatické zaznamenání naměřených hodnot.

1. Načtení a importování digitální fotografie

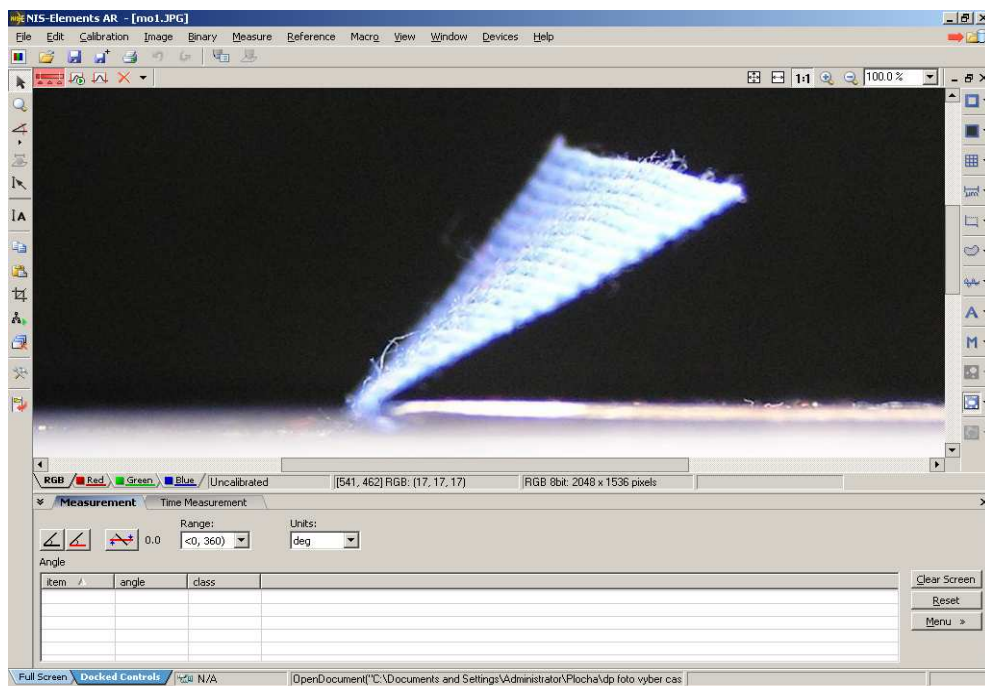
Prvním krokem po otevření programu bylo vyhledání požadovaného souboru s fotografiemi a importování požadované fotografie (Obr.27,28,28).



Obrázek 27 : Okno po spuštění programu



Obrázek 28: Výběr fotografie se složky

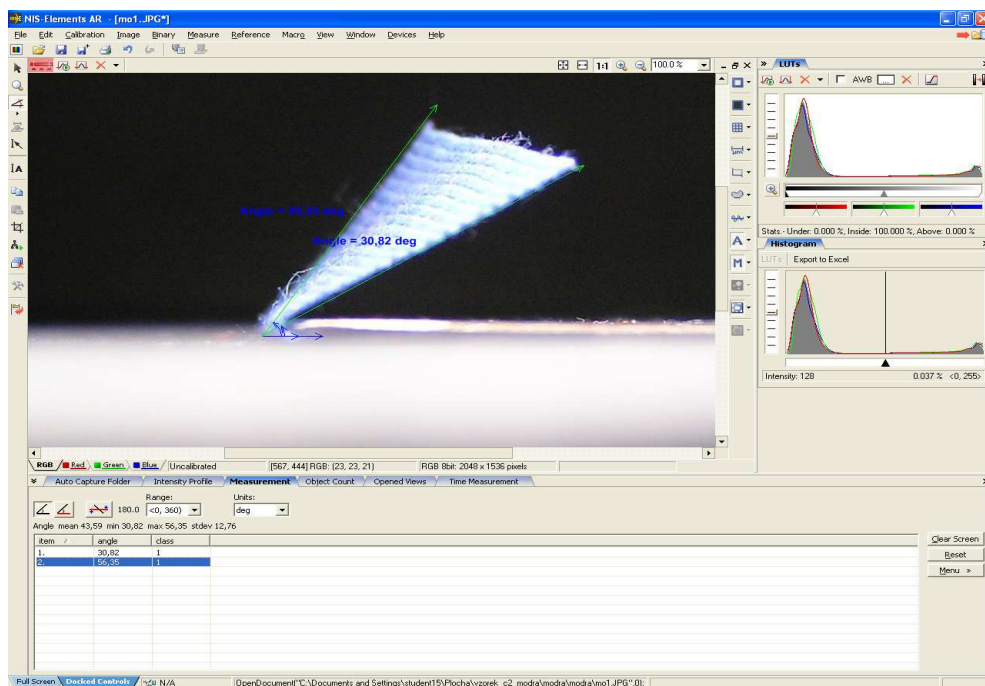


Obrázek 29: Importovaná fotografie

2. Postup měření úhlů zotavení

Po importování digitální fotografie byl úhel měřen pomocí stisknutí ikony “measure free angle”. Pomocí levého tlačítka myši byla umístěna základní přímka rovnoběžná s přítlačnou destičkou do místa ohybu textilie, pravým tlačítkem myši bylo potvrzeno umístění přímky. Pomocí levého tlačítka myši bylo otevřeno pohyblivé rameno, které se pokládalo souběžně s měřeným vrcholem. Po umístění pohyblivého ramena na požadované místo pomocí pravého tlačítka myši byl zobrazen naměřený úhle, který byl současně s pořadovým číslem měření úhlu zotavení zaznamenán ve spodním okraji okna.

Pravý úhle byl následně při zpracování výsledků nazván úhel zotavení α , levý úhle byl nazván úhle zotavení β .



obrázek 30: Změřené úhly s automatickým zaznamenáním naměřených hodnot

Po zpracování všech požadovaných fotografií se naměřené hodnoty úhlů zotavení pomocí funkce Menu - Export – File uloží do vybraného adresáře.

Výsledná tabulka obsahuje pořadová čísla měření s příslušnými úhly zotavení textilie (Obr.31).

modra vz2 - Poznámkový blok				
Soubor	Úpravy	Formát	Zobrazení	Nápověda
Item	Angle [deg]	class		
1.	30,82	1		
2.	56,35	1		
3.	30,63	1		
4.	56,81	1		
5.	30,86	1		
6.	56,70	1		
7.	31,73	1		
8.	56,98	1		
9.	32,00	1		
10.	57,41	1		
11.	31,93	1		
12.	57,05	1		
13.	32,25	1		
14.	57,17	1		
15.	34,37	1		
16.	57,80	1		
17.	35,89	1		
18.	59,07	1		
19.	36,82	1		
20.	58,92	1		
21.	37,63	1		
22.	60,19	1		
23.	38,12	1		
24.	60,82	1		
25.	38,19	1		
26.	60,81	1		
27.	38,74	1		
28.	61,12	1		
Feature Mean	St.Dev	Minimum	Maximum	
Angle [deg]	46,32	12,29	30,63 61,12	

obrázek 31: Tabulka výsledných naměřených hodnot úhlů zotavení textilie.

Výsledná průběžná měření jsou v příloze P34-36.

Výsledné zpracování naměřených hodnot a vykreslení grafu úhlu zotavení se provádí pomocí programu Microsoft Excel.

5.3.4 Měření úhlu zotavení pomocí programu Matlab

Obrazová analýza dle [16] slouží k objektivnímu posuzování obrazu.

Postup obrazové analýzy se dělí do třech fází:

1. tvorba digitální fotografie (náhrada klasické fotografie);
2. zpracování digitální fotografie počítačem, při užití určeného stanoveného programu;
3. měření vybraných oblastí fotografie, pomocí stanoveného programu.

Základní funkce pro zpracování obrazu vyjádřeného v šedé škále byly:

- potlačení šumu vhodnou prostorovou filtrací;
- zaostření obrazu s využitím konvoluce a maskových operátorů;
- detekce hran, vrcholů;
- prahování.

Výsledkem těchto operací byl binární obraz vyjádřený jako pole dat, obsahující pouze nulu (bílá) nebo jedničku (černá).

Dalším krokem při provádění obrazové analýzy bylo měření charakteristických rysů objektu, tj. měření úhlů zotavení, zaznamenání údajů do tabulky a vykreslení výsledného grafu úhlu zotavení textilie.

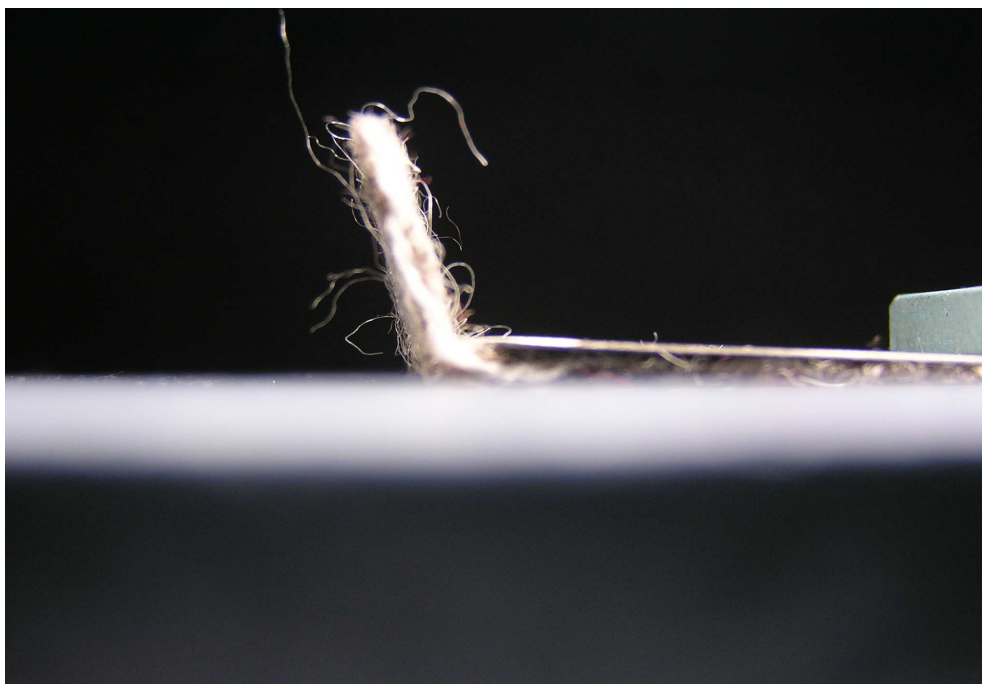
Skript programu úhel zotavení je uvedený v příloze P1-12.

Požadavky na fotografie ovlivňující přesnost měření úhlu zotavení textilie

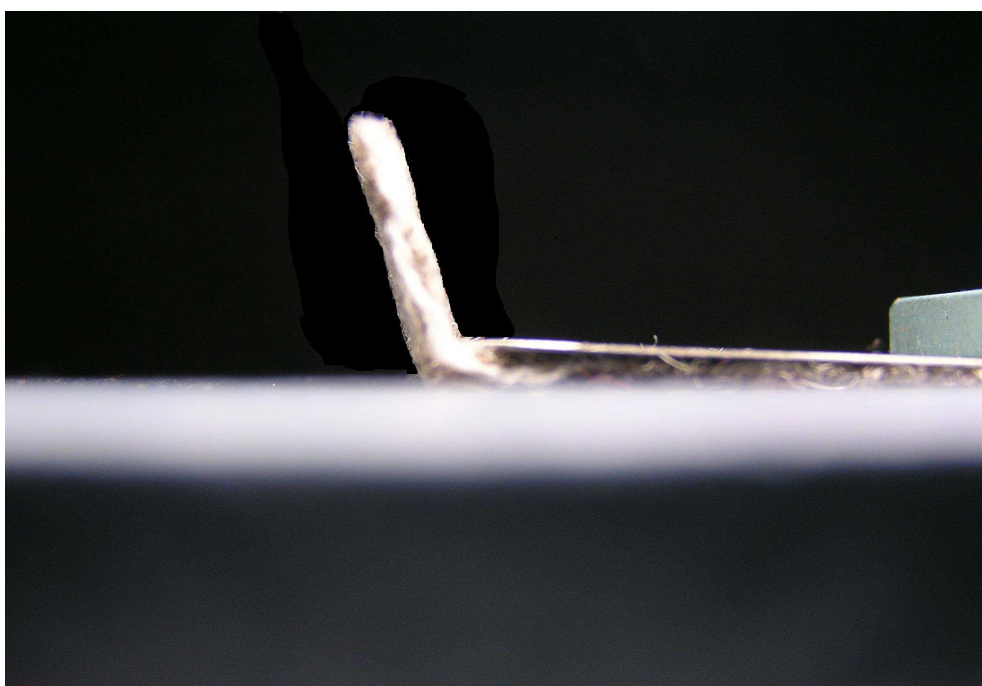
Při zpracování fotografie v prostředí Matlab, docházelo k zobrazení každého i nepatrného detailu. Zejména u textilií s vlasem byl obraz bez ostrých hran, což svědčí o tom, že obrazový záznam textilií tohoto druhu není vhodný pro měření uvedenou metodou.

Docházelo ke zkreslení naměřených výsledků, tj. vyčnívající vlákno či příze se mohlo vyskytovat v okolí oblasti hledaných bodů, důležitých pro vykreslení přímek (Obr.32). V případě, kdy byl použit materiál s vlasem, bylo možné fotografii upravit v kreslícím programu nebo v programu na úpravu digitálních fotografií (např. Corel PHOTO-PAINT 9) (Obr.33). V případě měření úhlů zotavení ostatními metodami nebyla úprava

fotografií z tohoto hlediska nutná, neboť v těchto případech si obsluha sama určuje proložení ramen (přímek) určujících velikost úhlu.



Obrázek 32: Originální fotografie



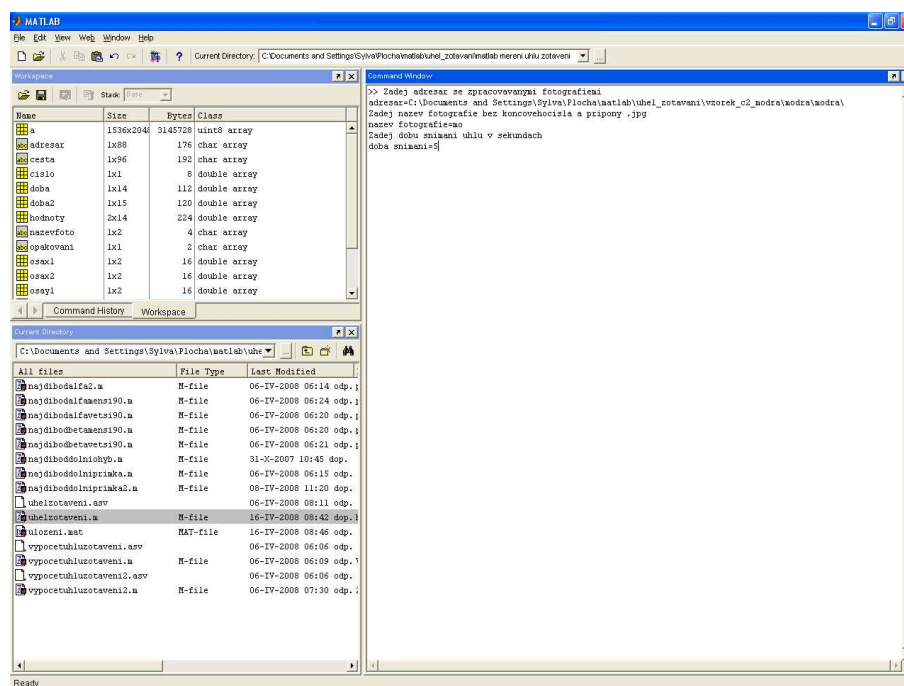
Obrázek 33: Upravená fotografie

5.3.4.1 Postup zpracovávání obrazu a měření úhlu zotavení

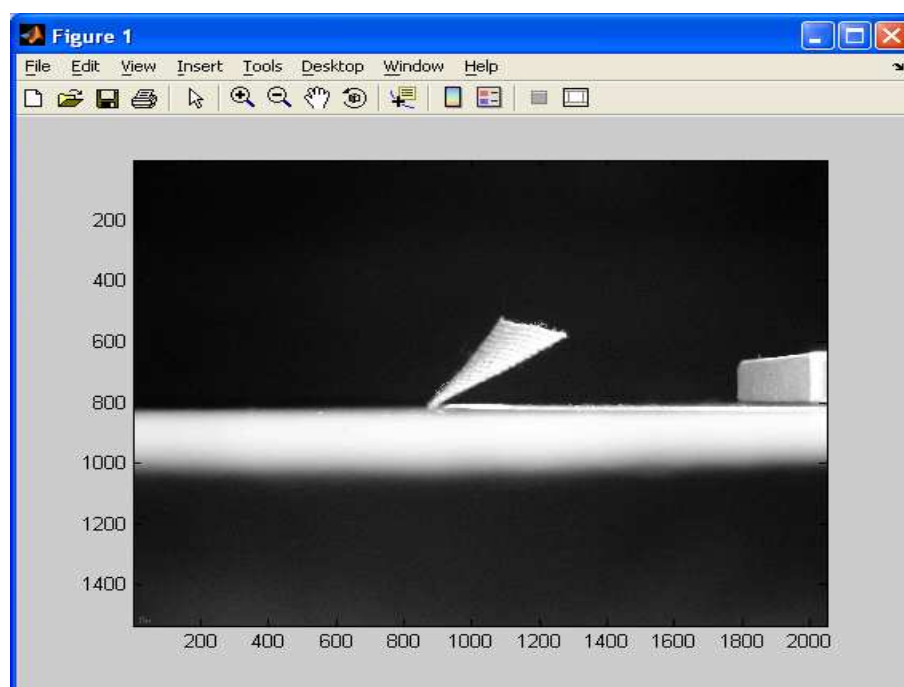
1. Načtení fotografie

Po spuštění programu byl v prvním kroku byl zadán adresář, ve kterém byly uloženy fotografie, dále byl zadán název fotografie bez koncového pořadového čísla a přípony jpg. a také doba snímání úhlu zotavení v sekundách. Zadaná doba snímání bude zaznamenána s příslušným úhlem zotavení do výsledné tabulky (Obr.34).

Po zadání vstupních informací byla zadaná fotografie převedena z RGB škály do šedotónového provedení (Obr.35).



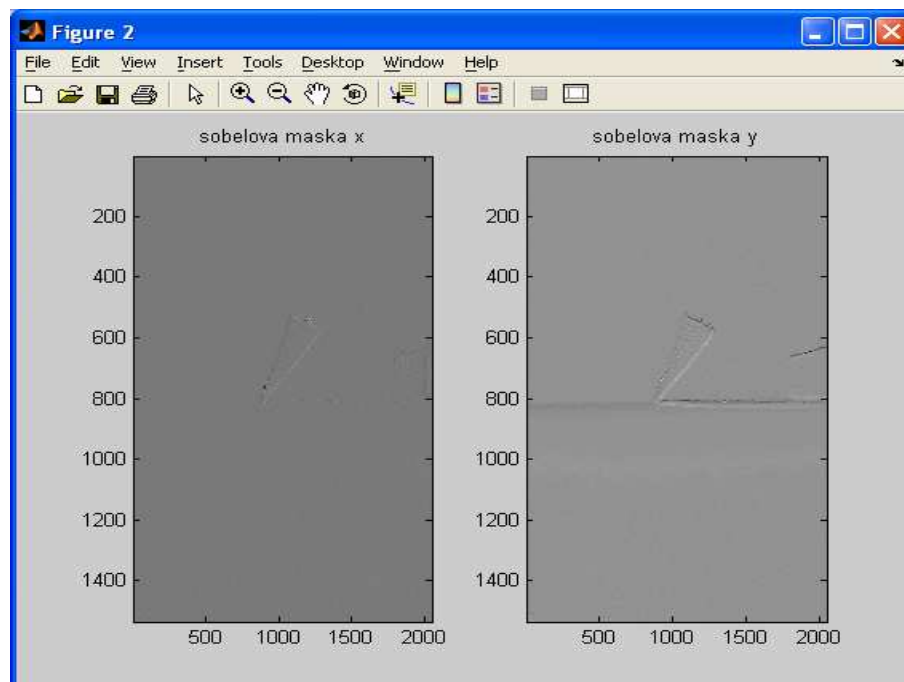
Obrázek 34: Okno s příkazy pro spuštění zpracování obrazu a měření úhlu zotavení



Obrázek 35: Fotografie v šedotónovém provedení

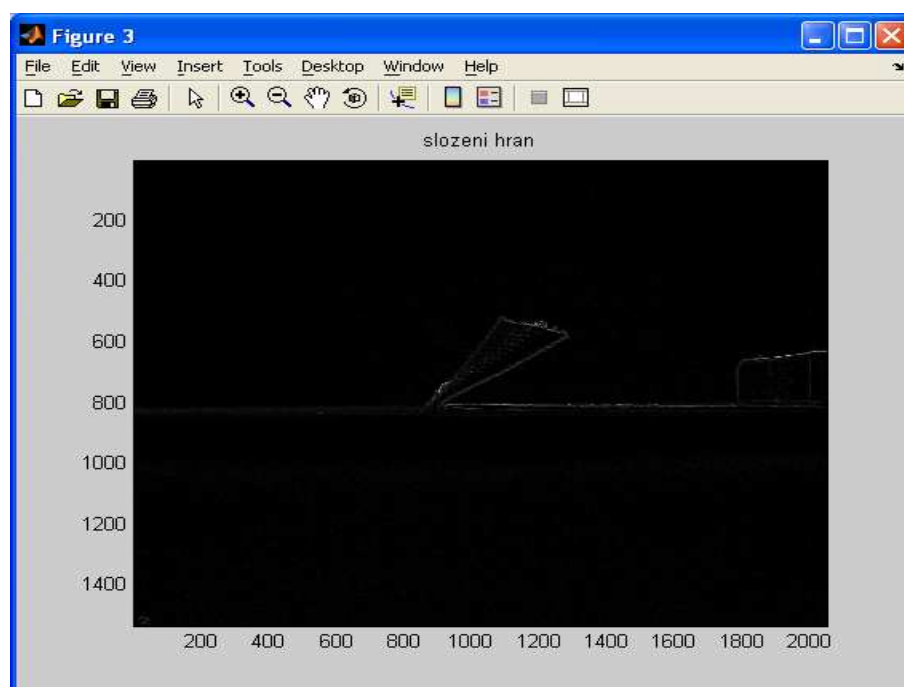
2. Detekce a složení hran

U načtené fotografie byly detekovány hrany x,y pomocí konvoluce fotografie se sobelovou maskou, které byly následně vykresleny (obr. 36). Detekcí pomocí Sobelových masek byly zvlášť detekovány vodorovné hrany objektu a zvlášť svislé hrany objektu.



Obrázek 36: Výpočet hran pomocí sobelové masky

Složení vodorovných a svislých hran do jednoho je na obrázku (obr. 37).

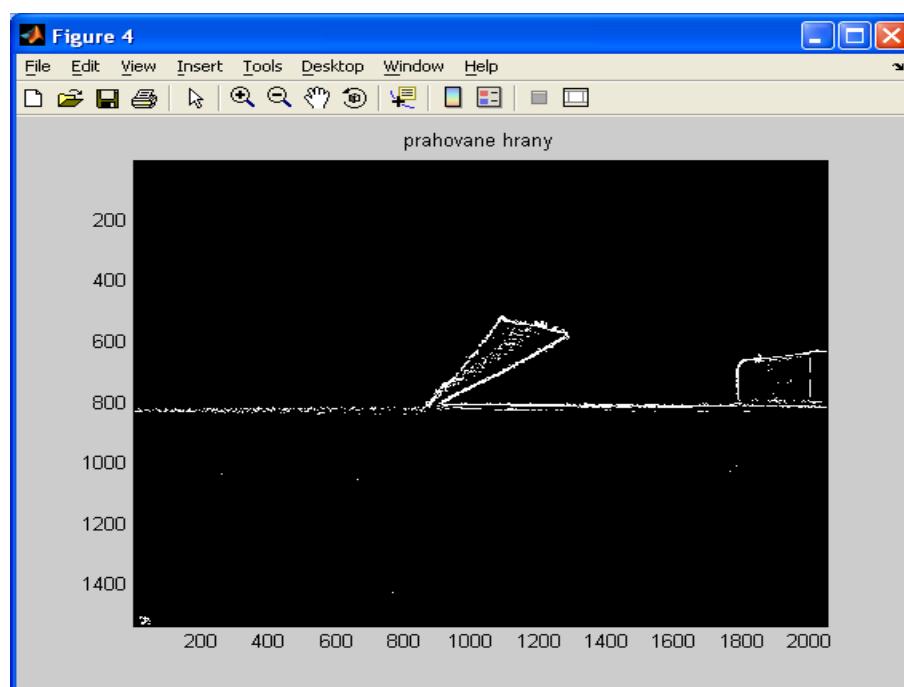


Obrázek 37: Složení hran do jednoho obrazu

3. Prahování hran

V následujícím kroku bylo provedeno prahování hran. Uživatel zadal hodnotu v rozsahu 0 až 1000.

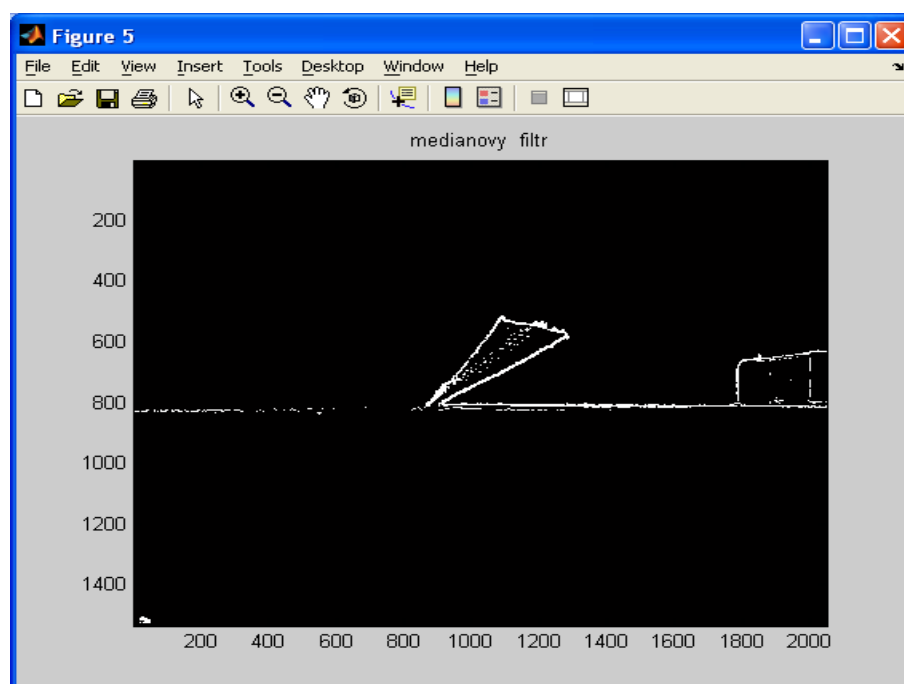
Prahování je proces, ve kterém dochází k převodu obrázku z šedé škály na černobílou. Po zadání hodnoty prahu byl obraz zpracován tak, že místům, kde byla hodnota větší než zadaná hodnota prahu byla přiřazena hodnota 1 (černá) a zbývající hodnoty byly převedeny na 0 (bílá) (Obr.38).



Obrázek 38: Prahovaný obraz

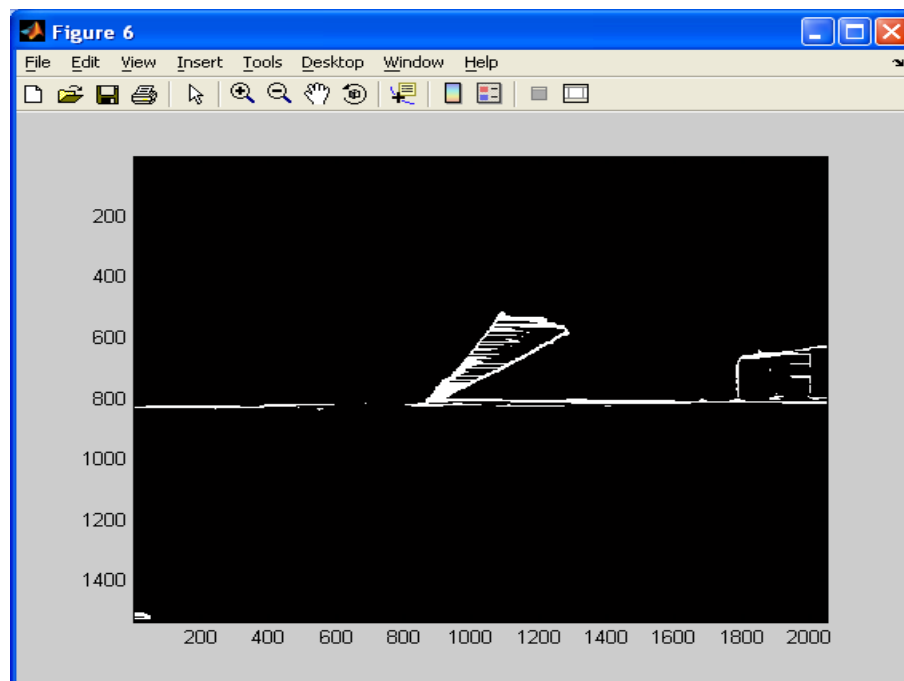
4. Odstranění šumů a morfologie obrazu

Pro odstranění šumů ve figure 4 byla použita metoda filtrace při použití mediánového filtru, touto filtrací došlo k filtraci šumu typu „pepř a sůl“ (Obr.39). Tím byly z obrazu odstraněny nežádoucí čáry, které by mohly způsobit nepřesné měření úhlu zotavení.



Obrázek 39: Odstranění šumů typu „pepř a sůl“

Morfologická operace, použitá v dalším kroku, zacelila mezery v obrazu. Tato operace provedla zcelení kontur obrazu a byla nutná pro následující stanovení bodů určující přímky pro měření úhlu. (obr.40), a to zejména pro určení bodů dolní přímky.



Obrázek 40: Morfologie obrazu

Pokud byl uživatel nespokojený s výsledkem zpracovaného obrazu musel zadat hodnotu prahu znovu a operace od prahování až po morfologii zopakovat. Následně, v případě, že je s výsledkem obrazu spokojen, dal uživatel souhlas s prováděním dalších operací.

5. Zadání oblastí výřezu obrazu

Následovaly operace zadání oblastí výřezů a určení, zda je úhel zotavení větší nebo menší než 90° . Z toho rozhodnutí vyplynul následující postup snímání bodů vrcholů textilie.

Rozdílnost snímání byla dána sklonem textilie, a to tak, že buď byl vrchol obrazu určován postupně po řádcích a po sloupcích od prvního řádku a sloupce nebo byl určován po sloupcích a řádcích od posledního sloupce a prvního řádku.

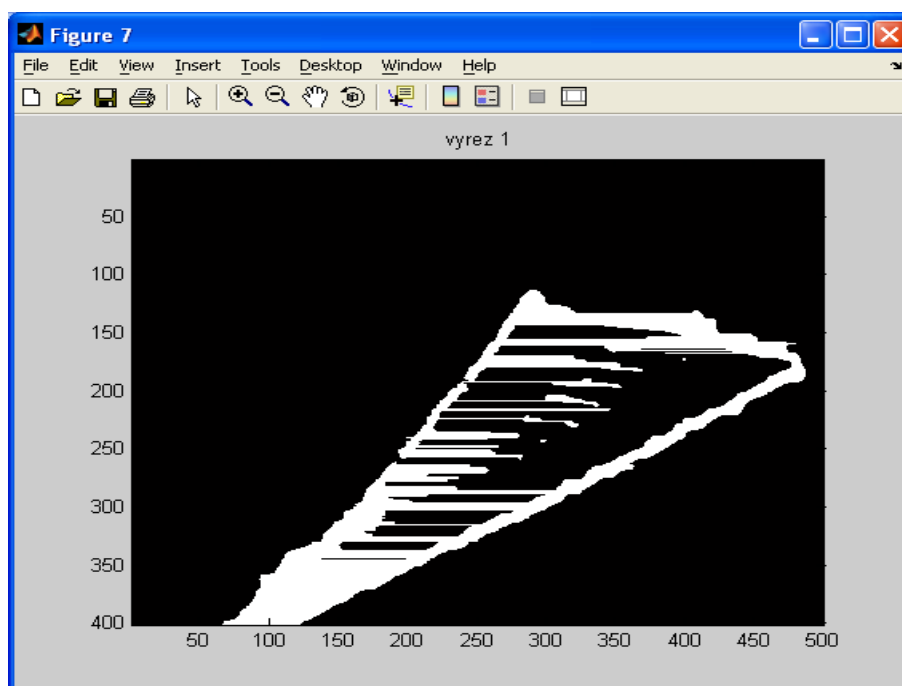
Zadání oblastí výřezů bylo provedeno pro dva typy oblastí. Výřezy byly ve zvětšeném detailním formátu. V prvním výřezu byla vyobrazena zotavující se část textilie (obr.41). V druhém výřezu byla vyobrazena dolní přímka. (obr.42).

6. Určení bodů pro výpočet vektorů úhlů zotavení

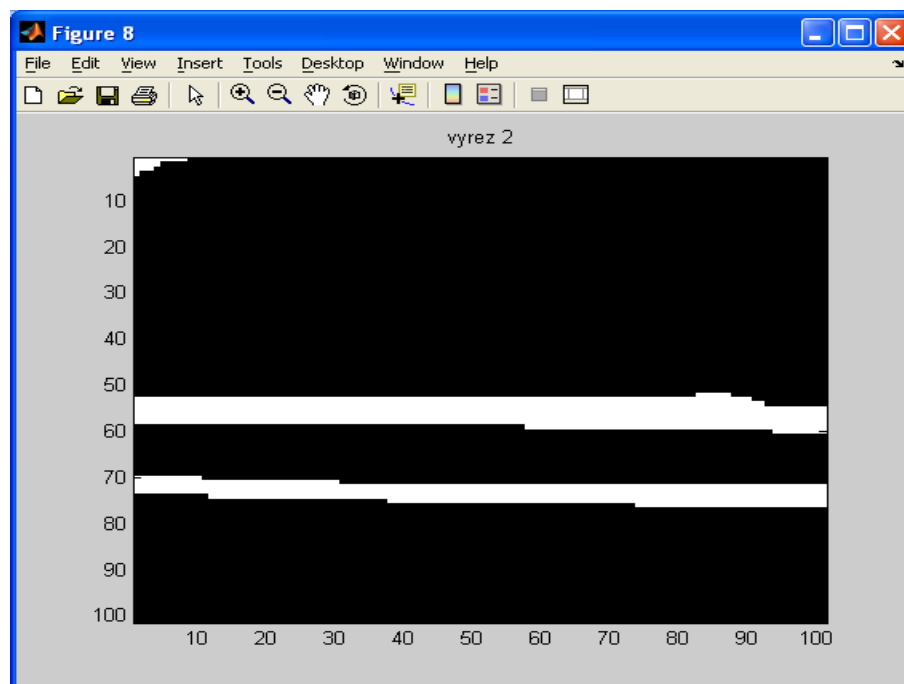
U výřezu č. 2 byly v dolní oblasti dle příkazu nalezeny body „Bod dolní přímky“ a „Bod dolní přímky 2“, určené pro vytvoření přímky *k výpočtu vektoru*.

V prvním výřezu byly zadány body pro vektory výpočtu úhlu, a to tak, že byly dle příkazu nalezeny bod pravý α a bod pravý $\alpha 2$ tvořící přímku, protínající dolní přímku. Průsečík těchto dvou přímek určil úhel α . Dále byl dle příkazu nalezen bod levý β a následně byl spojený s již vzniklým průsečíkem. Průsečík přímky z levého bodu β a dolní přímky určoval úhel β .

Před samotným měřením a výpočtem úhlů byly výřezy přepočítány zpět na původní velikost obrazu.



Obrázek 41: Výřez č. 1 – Snímání bodu pravého α a levého β .

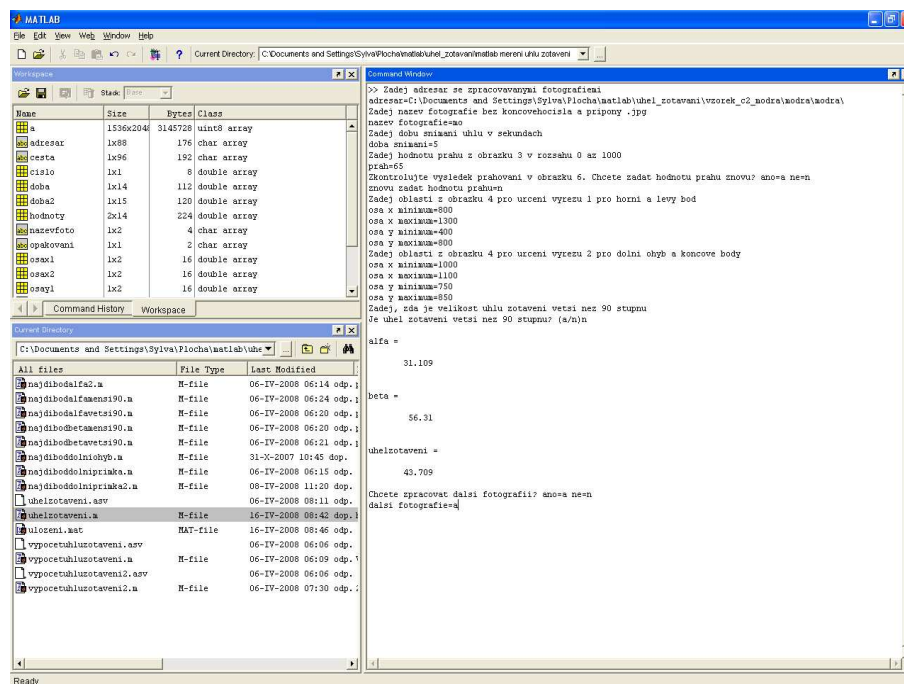


Obrázek 42: Výřez č. 2 – snímání dolních bodů

Ze změřených úhlů α a β byl vypočítán průměr. Průměr těchto dvou úhlů udával výslednou hodnotu úhlu pro dané zotavení textilie v daném čase.

7. Zpracování následné fotografie

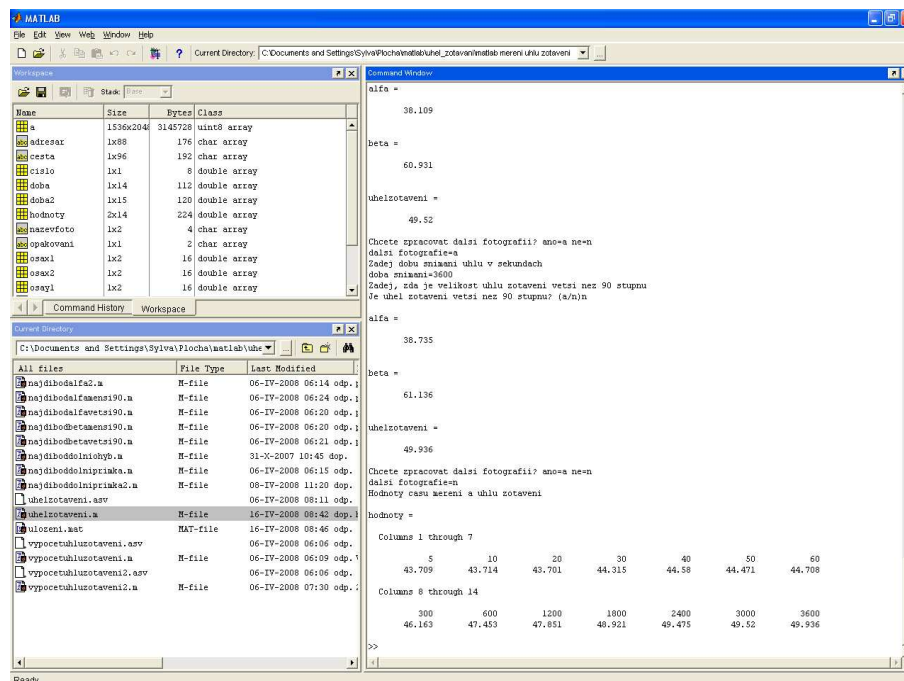
Dále by uživatel byl v rámci programového dialogu dotazován, zda chce pokračovat v měření či nikoli (Obr.43). Pokud chtěl pokračovat v měření, zadal pokyn „a“ a celý cyklus se opakoval tím způsobem, že byla načtena následující fotografie, která byla zpracována automaticky do fáze zadávání velikosti úhlu stejně jako to bylo u předchozí fotografie. Každá následující fotografie (č.2, 3 ...) byla zpracována se stejnou hodnotou prahu, filtrována, morfologicky upravena jako fotografie první. A automaticky byly použity stejné hodnoty pro výřezy a protože vlivem relaxace docházelo k posuvu horní části textilie, bylo vhodnější zadávat oblasti výřezu větší. Následné měření úhlů zotavení a zaznamenání výsledků bylo stejné jako u předchozí fotografie.



Obrázek 43: Okno se zadanými a průběžnými hodnotami měření úhlu zotavení

8. Závěrečné vypsání výsledků

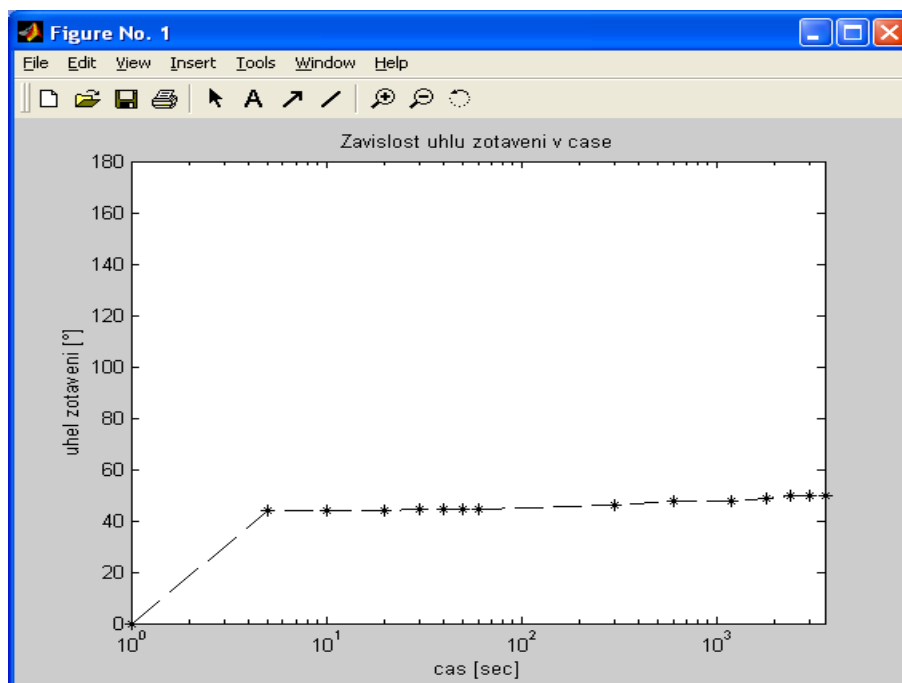
Pokud byly již všechny fotografie zpracovány a změřeny nebo uživatel již nechtěl pokračovat v měření úhlu zotavení, ukončil měření úhlu zotavení zadáním pokynu „n“ do příkazového řádku a následně došlo k vypsání všech naměřených hodnot úhlů zotavení příslušných časů (Obr.44).



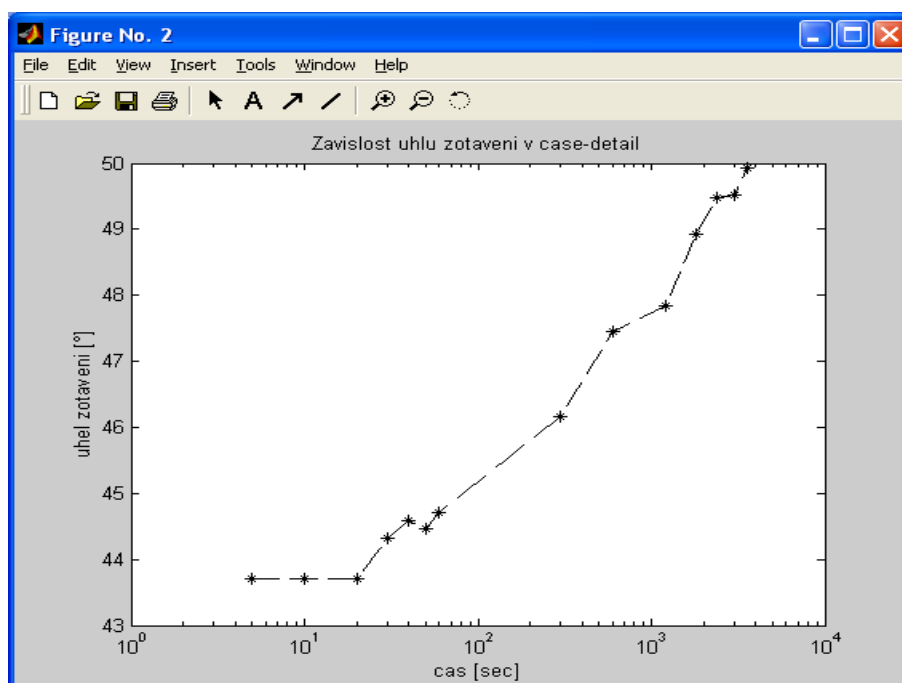
Obrázek 44: Okno se zadanými a výslednými hodnotami

9. Vykreslení grafu úhlu zotavení

Posledním krokem zpracování a měření bylo vykreslení grafu úhlu zotavení. Výsledkem grafu je relaxační křivka textilie (Obr.45).



Obrázek 45: Výsledný graf úhlu zotavení



Obrázek 46: Výsledný detailní graf úhlu zotavení

Výsledná průběžná měření jsou v příloze P13-33.

6 Vyhodnocení naměřených úhlů zotavení všech typů metod

V následující části experimentu došlo k porovnávání zjištěných dat a následně k vzájemnému zadaných porovnání metod.

Při porovnávání dat byly zjišťovány číselné rozdíly výsledů jednotlivých metod, následně byla zjištěna závislost dat jednotlivých metod.

Při vzájemném konečném porovnání zadaných metod bylo provedeno celkové srovnání jednotlivých metod.

6.1 Výsledky měření

Po změření úhlů zotavení všech vzorků pomocí zadaných metod byly výsledky zpracovány a srovnány v následujících tabulkách (tab.4-6).

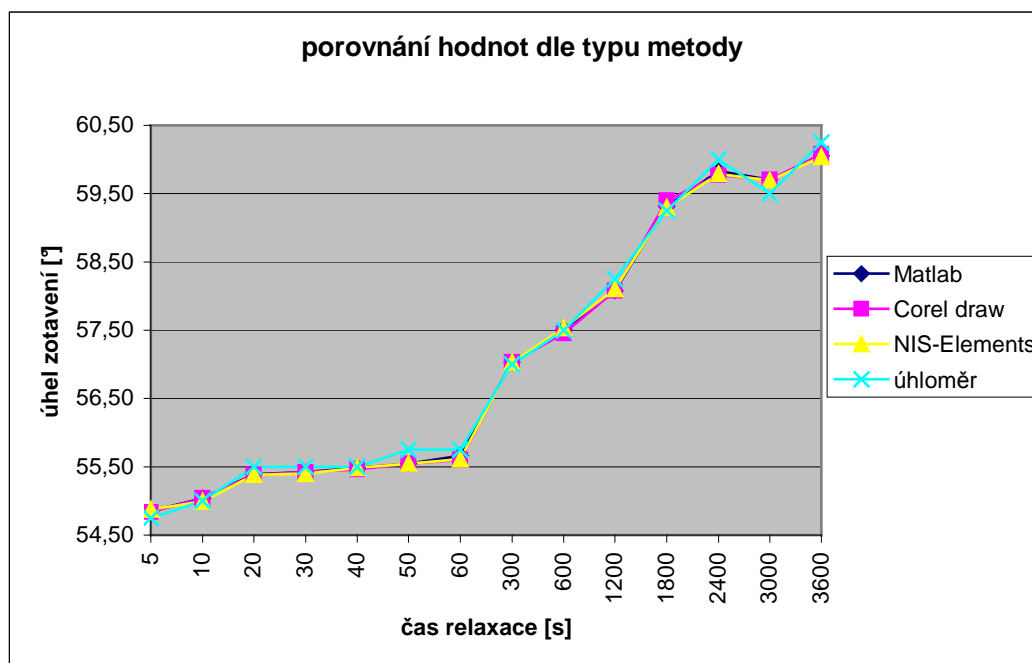
Na základě naměřených hodnot byly vypracovány grafy úhlů zotavení. Pro každý měřený vzorek byly tyto grafy zaznamenány samostatně a pro srovnání výsledků zakresleny do jednoho výsledného grafu(graf.1-3).

Jednotlivá výsledná měření a grafické zpracování jsou v příloze P37-54.

6.1.1 Měření úhlu zotavení - vzorek č.1

Tabulka 4: Výsledné hodnoty úhlů zotavení

	Úhel zotavení [°]			
Čas relaxace [s]	Matlab	Corel draw	NIS-Elements	úhloměr
0	0	0	0	0
5	54,85	54,84	54,88	54,75
10	55,04	55,04	55,00	55,00
20	55,39	55,38	55,38	55,50
30	55,43	55,42	55,40	55,50
40	55,49	55,46	55,49	55,50
50	55,55	55,55	55,55	55,75
60	55,67	55,61	55,61	55,75
300	57,04	57,04	57,03	57,00
600	57,52	57,45	57,53	57,50
1200	58,08	58,08	58,10	58,25
1800	59,32	59,40	59,30	59,25
2400	59,83	59,78	59,79	60,00
3000	59,71	59,70	59,70	59,50
3600	60,06	60,08	60,04	60,25

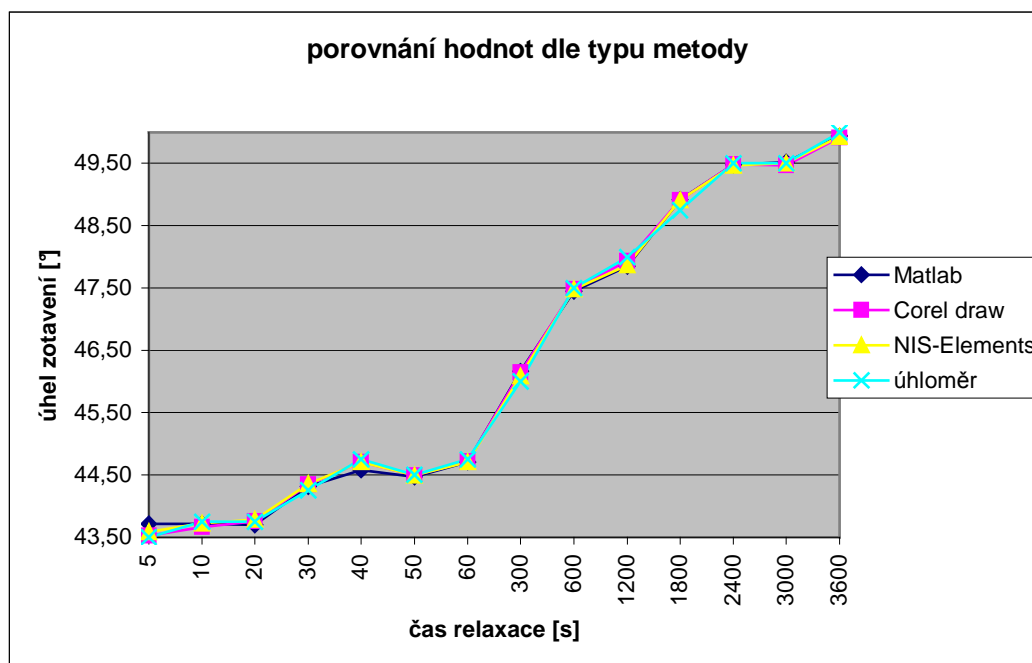


Graf 1: Detailní graf úhlů zotavení dle typu použité metody

6.1.2 Měření úhlu zotavení - vzorek č.2

Tabulka 5: Výsledné hodnoty úhlů zotavení

	Úhel zotavení [°]			
Čas relaxace [s]	Matlab	Corel draw	NIS-Elements	úhloměr
0	0	0	0	0
5	43,71	43,53	43,59	43,50
10	43,71	43,67	43,72	43,75
20	43,70	43,76	43,78	43,75
30	44,32	44,35	44,36	44,25
40	44,58	44,71	44,71	44,75
50	44,47	44,50	44,49	44,50
60	44,71	44,72	44,71	44,75
300	46,16	46,15	46,09	46,00
600	47,45	47,49	47,48	47,50
1200	47,85	47,94	47,87	48,00
1800	48,92	48,92	48,91	48,75
2400	49,48	49,49	49,47	49,50
3000	49,52	49,47	49,50	49,50
3600	49,94	49,92	49,93	50,00

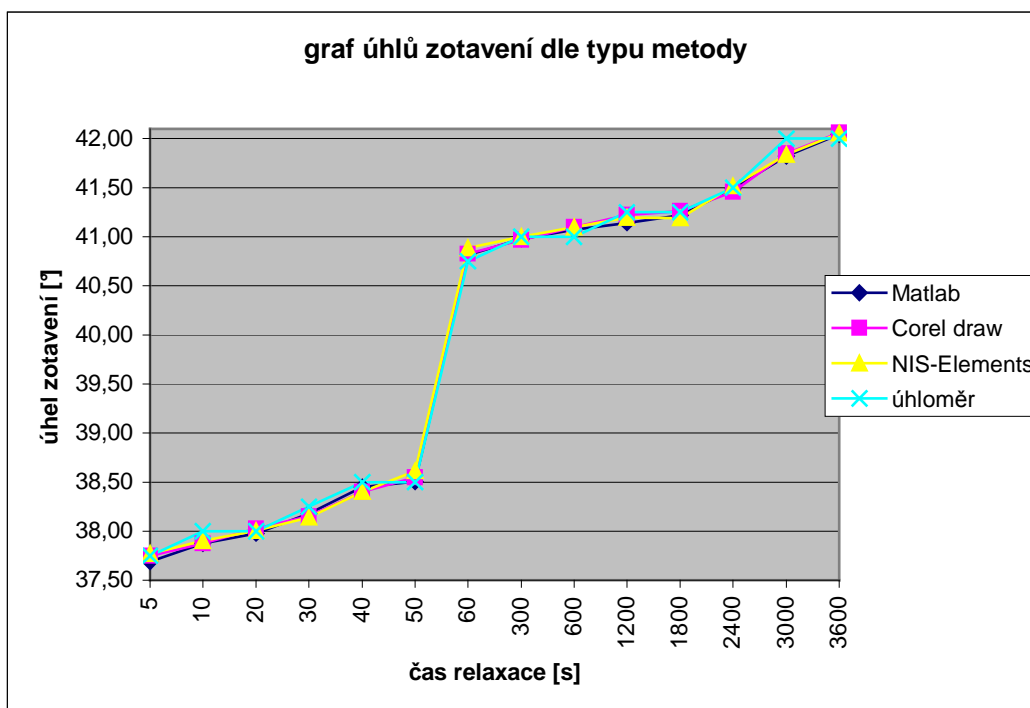


Graf 2: Detailní graf úhlů zotavení dle typu použité metody

6.1.3 Měření úhlu zotavení - vzorek č.3

Tabulka 6: Výsledné hodnoty úhlů zotavení

	Úhel zotavení [°]			
Čas relaxace [s]	Matlab	Corel draw	NIS-Elements	úhloměr
0	0	0	0	0
5	37,69	37,75	37,77	37,75
10	37,88	37,88	37,90	38,00
20	37,98	38,03	38,01	38,00
30	38,18	38,15	38,14	38,25
40	38,45	38,40	38,40	38,50
50	38,51	38,55	38,62	38,50
60	40,82	40,83	40,89	40,75
300	40,98	40,97	41,00	41,00
600	41,08	41,10	41,10	41,00
1200	41,15	41,23	41,20	41,25
1800	41,22	41,27	41,19	41,25
2400	41,49	41,46	41,52	41,50
3000	41,83	41,85	41,84	42,00
3600	42,05	42,06	42,06	42,00



Graf 3: Detailní graf úhlů zotavení dle typu použité metody

6.2 Porovnání výsledků dle typu použitých metod zjišťování úhlu zotavení

Porovnání výsledků dle typu použité metody měření úhlu zotavení je graficky znázorněno v grafech (graf 4-6). Z grafů je patrné, že rozdíly měření u daných metod jsou malé, nicméně jsou na zobrazení patrné (tab.7-15).

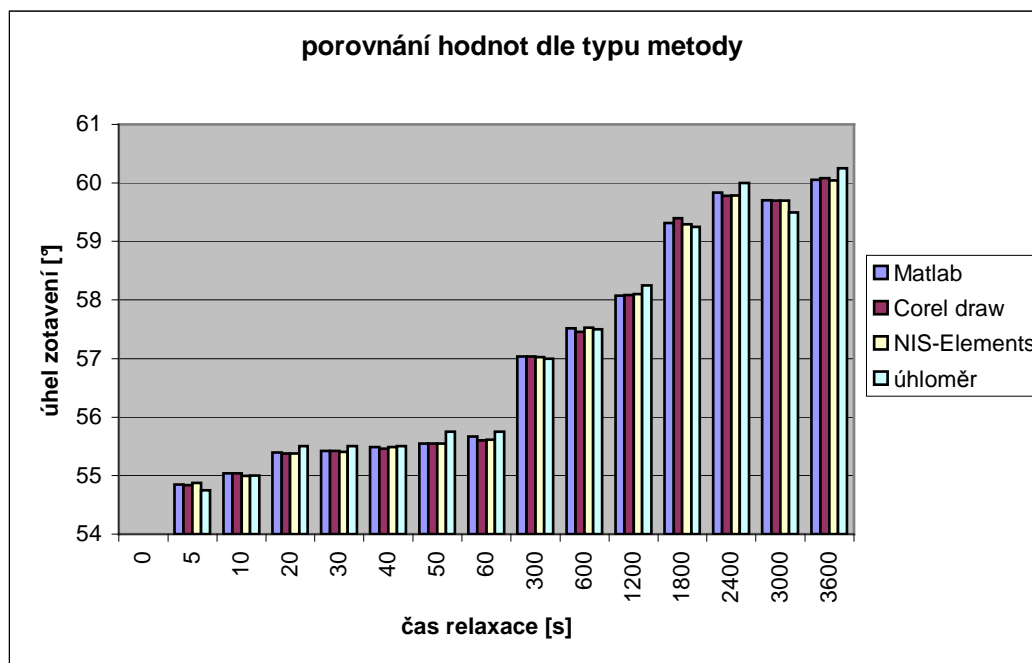
Rozdíly jsou způsobené typem použité metody.

U metody měření pomocí programu Matlab je úhel snímán s přesností danou programem. Uživatel neovlivní konečný výsledek.

U metod měření pomocí programu Corel draw, NIS- Elements a u metody ručního měření úhloměrem je přesnost ovlivněna uživatelem, a to zejména tím s jakou mírou přesnosti je uživatel schopen pokládat osy (přímky) či úhloměr v daném objektu měření (fotografii) určující výsledné úhly zotavení.

Největší rozdíly ve srovnání s ostatními měřeními jsou patrné u ručního měření úhloměrem. Tyto odchylky jsou způsobeny rozsahem měřidla, tzn. že ručním úhloměrem lze měřit jen s přesností $\pm 0,5^\circ$.

6.2.1 Porovnání výsledků -vzorek č.1



Graf 4: Porovnání výsledků dle typu použitého měření

Tabulka 7: Rozdíl měření u metod typu Matlab a Corel draw

	Matlab	Corel draw	Rozdíl
Čas relaxace [s]	úhel zotavení[°]	úhel zotavení[°]	[°]
0	0	0	0,000
5	54,85	54,84	0,015
10	55,04	55,04	0,000
20	55,39	55,38	0,010
30	55,43	55,42	0,005
40	55,49	55,46	0,025
50	55,55	55,55	0,000
60	55,67	55,61	0,060
300	57,04	57,04	0,000
600	57,52	57,45	0,065
1200	58,08	58,08	0,005
1800	59,32	59,40	0,085
2400	59,83	59,78	0,05
3000	59,71	59,70	0,005
3600	60,06	60,08	0,020
	průměrná hodnota rozdílu		0,025

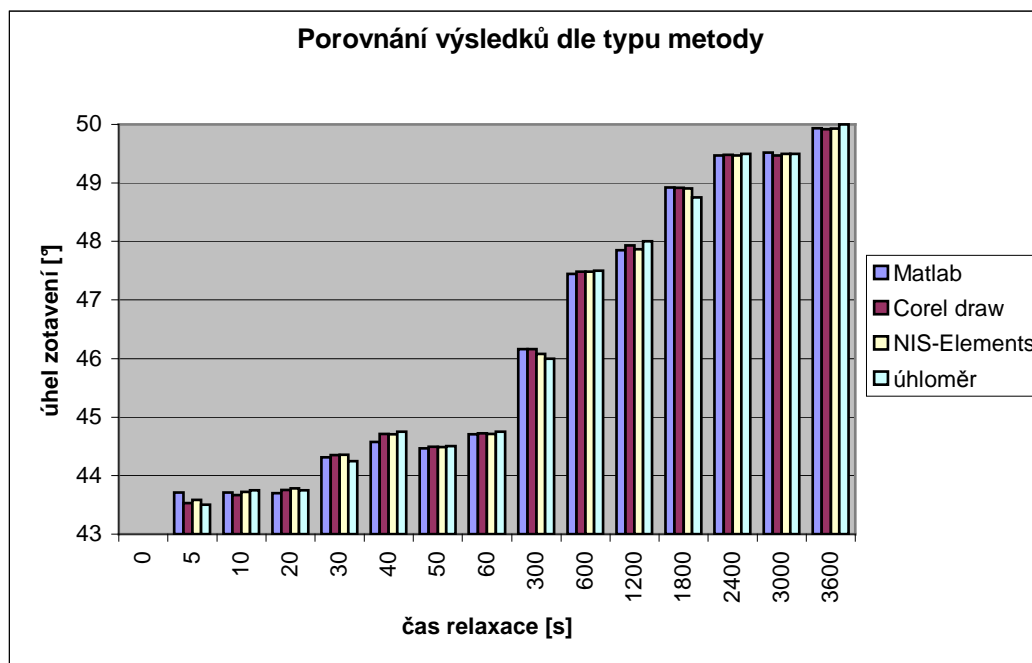
Tabulka 8: Rozdíl měření u metod typu Matlab a úhloměru

	Matlab	Úhloměr	Rozdíl
Čas relaxace [s]	úhel zotavení[°]	úhel zotavení[°]	[°]
0	0	0	0,000
5	54,85	54,75	0,100
10	55,04	55,00	0,040
20	55,39	55,50	0,110
30	55,43	55,50	0,075
40	55,49	55,50	0,015
50	55,55	55,75	0,200
60	55,67	55,75	0,085
300	57,04	57,00	0,035
600	57,52	57,50	0,015
1200	58,08	58,25	0,175
1800	59,32	59,25	0,065
2400	59,83	60,00	0,170
3000	59,71	59,50	0,205
3600	60,06	60,25	0,195
	průměrná hodnota rozdílu		0,106

Tabulka 9: Rozdíl měření u metod typu Matlab a NIS-Elements

	Matlab	NIS-Elements	Rozdíl
Čas relaxace [s]	úhel zotavení[°]	úhel zotavení[°]	[°]
0	0	0	0,000
5	54,85	54,88	0,025
10	55,04	55,00	0,040
20	55,39	55,38	0,010
30	55,43	55,40	0,025
40	55,49	55,49	0,000
50	55,55	55,55	0,005
60	55,67	55,61	0,055
300	57,04	57,03	0,005
600	57,52	57,53	0,015
1200	58,08	58,10	0,025
1800	59,32	59,30	0,020
2400	59,83	59,79	0,040
3000	59,71	59,70	0,010
3600	60,06	60,04	0,015
	průměrná hodnota rozdílu		0,021

6.2.2 Porovnání výsledků -vzorek č. 2



Graf 5: Porovnání výsledků dle typu použitého měření

Tabulka 10: Rozdíl měření u metod typu Matlab a Corel draw

	Matlab	Corel draw	Rozdíl
Čas relaxace [s]	úhel zotavení[°]	úhel zotavení[°]	[°]
0	0	0	0,000
5	43,71	43,53	0,185
10	43,71	43,67	0,040
20	43,70	43,76	0,060
30	44,32	44,35	0,030
40	44,58	44,71	0,130
50	44,47	44,50	0,025
60	44,71	44,72	0,015
300	46,16	46,15	0,010
600	47,45	47,49	0,040
1200	47,85	47,94	0,090
1800	48,92	48,92	0,005
2400	49,48	49,49	0,010
3000	49,52	49,47	0,050
3600	49,94	49,92	0,025
	průměrná hodnota rozdílu		0,051

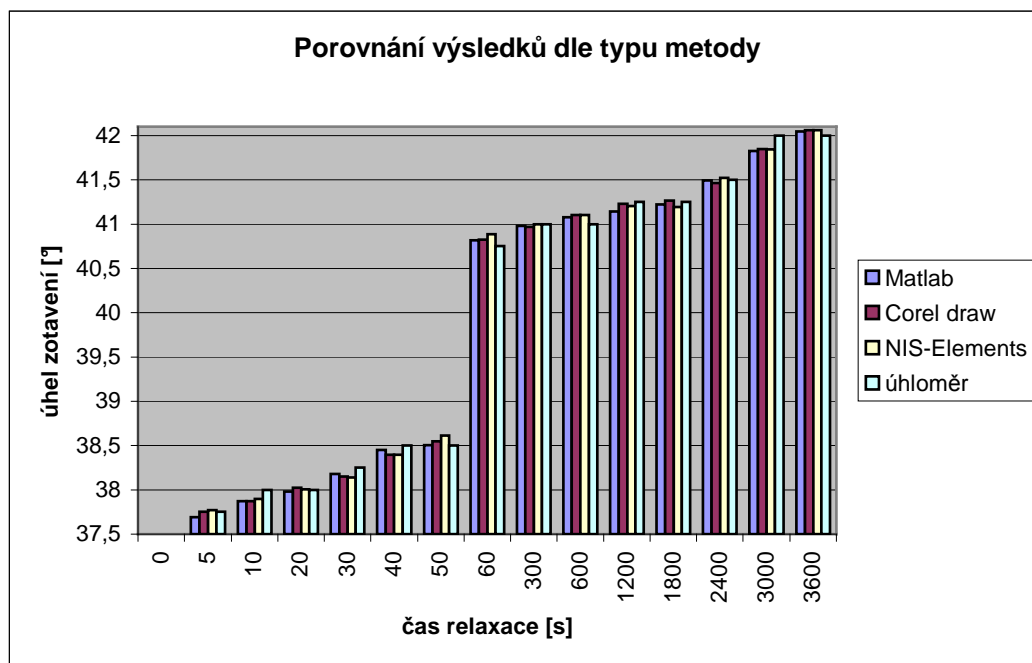
Tabulka 11: Rozdíl měření u metod typu Matlab a NIS-Elements

	Matlab	NIS-Elements	Rozdíl
Čas relaxace [s]	úhel zotavení[°]	úhel zotavení[°]	[°]
0	0	0	0,000
5	43,71	43,59	0,125
10	43,71	43,72	0,010
20	43,70	43,78	0,080
30	44,32	44,36	0,040
40	44,58	44,71	0,125
50	44,47	44,49	0,020
60	44,71	44,71	0,005
300	46,16	46,09	0,070
600	47,45	47,48	0,030
1200	47,85	47,87	0,020
1800	48,92	48,91	0,010
2400	49,48	49,47	0,005
3000	49,52	49,50	0,020
3600	49,94	49,93	0,010
	průměrná hodnota rozdílu		0,041

Tabulka 12: Rozdíl měření u metod typu Matlab a úhloměr

	Matlab	Úhloměr	Rozdíl
Čas relaxace [s]	úhel zotavení[°]	úhel zotavení[°]	[°]
0	0	0	0,000
5	43,71	43,50	0,210
10	43,71	43,75	0,040
20	43,70	43,75	0,050
30	44,32	44,25	0,065
40	44,58	44,75	0,170
50	44,47	44,50	0,030
60	44,71	44,75	0,045
300	46,16	46,00	0,160
600	47,45	47,50	0,050
1200	47,85	48,00	0,150
1800	48,92	48,75	0,170
2400	49,48	49,50	0,025
3000	49,52	49,50	0,020
3600	49,94	50,00	0,060
	průměrná hodnota rozdílu		0,089

6.2.3 Porovnání výsledků -vzorek č. 3



Graf 6: Porovnání výsledků dle typu použitého měření

Tabulka 13: Rozdíl měření u metod typu Matlab a Corel draw

	Matlab	Corel draw	Rozdíl
Čas relaxace [s]	úhel zotavení[°]	úhel zotavení[°]	[°]
0	0	0	0,000
5	37,69	37,75	0,060
10	37,88	37,88	0,000
20	37,98	38,03	0,045
30	38,18	38,15	0,030
40	38,45	38,40	0,050
50	38,51	38,55	0,045
60	40,82	40,83	0,010
300	40,98	40,97	0,010
600	41,08	41,10	0,025
1200	41,15	41,23	0,080
1800	41,22	41,27	0,045
2400	41,49	41,46	0,030
3000	41,83	41,85	0,025
3600	42,05	42,06	0,015
	průměrná hodnota rozdílu		0,034

Tabulka 14: Rozdíl měření u metod typu Matlab a NIS-Elements

	Matlab	NIS-Elements	Rozdíl
Čas relaxace [s]	úhel zotavení[°]	úhel zotavení[°]	[°]
0	0	0	0,000
5	37,69	37,77	0,080
10	37,88	37,90	0,025
20	37,98	38,01	0,025
30	38,18	38,14	0,040
40	38,45	38,46	0,010
50	38,51	38,62	0,110
60	40,82	40,89	0,070
300	40,98	41,00	0,020
600	41,08	41,10	0,025
1200	41,15	41,20	0,055
1800	41,22	41,19	0,030
2400	41,49	41,52	0,030
3000	41,83	41,84	0,015
3600	42,05	42,06	0,010
	průměrná hodnota rozdílu		0,039

Tabulka 15: Rozdíl měření u metod typu Matlab a úhloměr

	Matlab	Úhloměr	Rozdíl
Čas relaxace [s]	úhel zotavení[°]	úhel zotavení[°]	[°]
0	0	0	0,000
5	37,69	37,75	0,060
10	37,88	38,00	0,125
20	37,98	38,00	0,020
30	38,18	38,25	0,070
40	38,45	38,50	0,050
50	38,51	38,50	0,005
60	40,82	40,75	0,065
300	40,98	41,00	0,020
600	41,08	41,00	0,075
1200	41,15	41,25	0,105
1800	41,22	41,25	0,030
2400	41,49	41,50	0,010
3000	41,83	42,00	0,175
3600	42,05	42,00	0,045
	průměrná hodnota rozdílu		0,061

6.3 Porovnání výsledků dle typu použitých metod zjišťování úhlu zotavení pomocí korelace

Pro porovnání výsledků jednotlivých metod byla použita srovnávací metoda pro porovnávání naměřených hodnot pomocí korelace hodnot. Při aplikaci této metody zjišťujeme, zda mezi dvěma spojitými proměnnými existuje lineární vztah. V jednotlivých grafech jsou vzájemně porovnávány jednotlivé metody (graf 7-24). Jejich vzájemná závislost je určena korelačním koeficientem.

Korelace

Korelace je míra závislosti souboru dat.

Výpočet korelačního koeficientu r_k :

$$r_k = \frac{(\overline{XY} - \overline{X} * \overline{Y})}{(S_X * S_Y)}$$

\overline{X} průměrná hodnota z naměřených hodnot na ose x

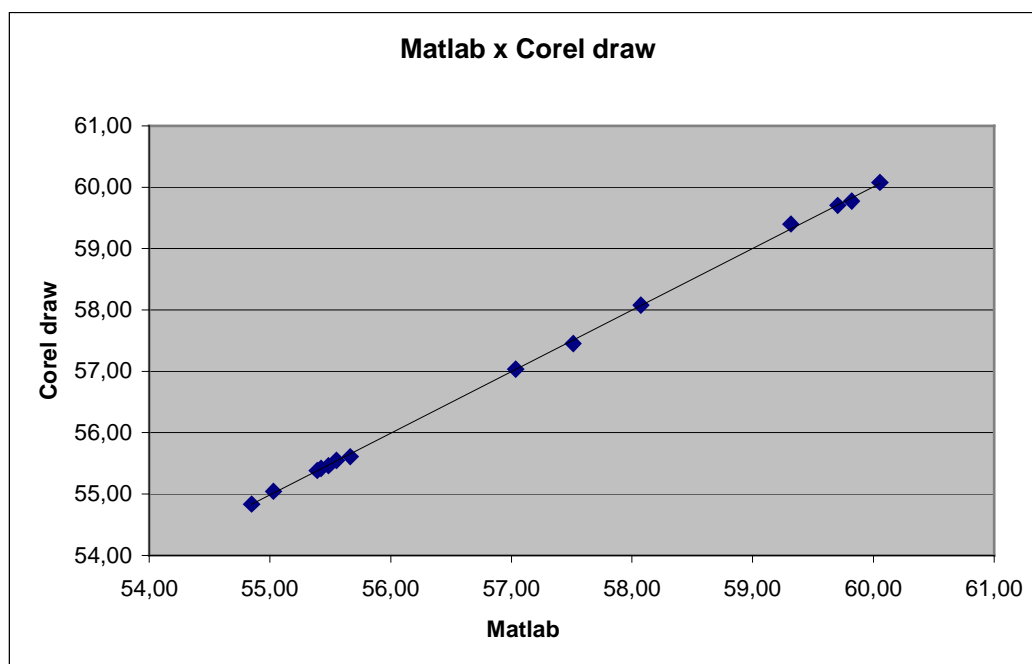
\overline{Y} průměrná hodnota z naměřených hodnot na ose y

S_X směrodatná odchylka z hodnot x

S_Y směrodatná odchylka z hodnot y

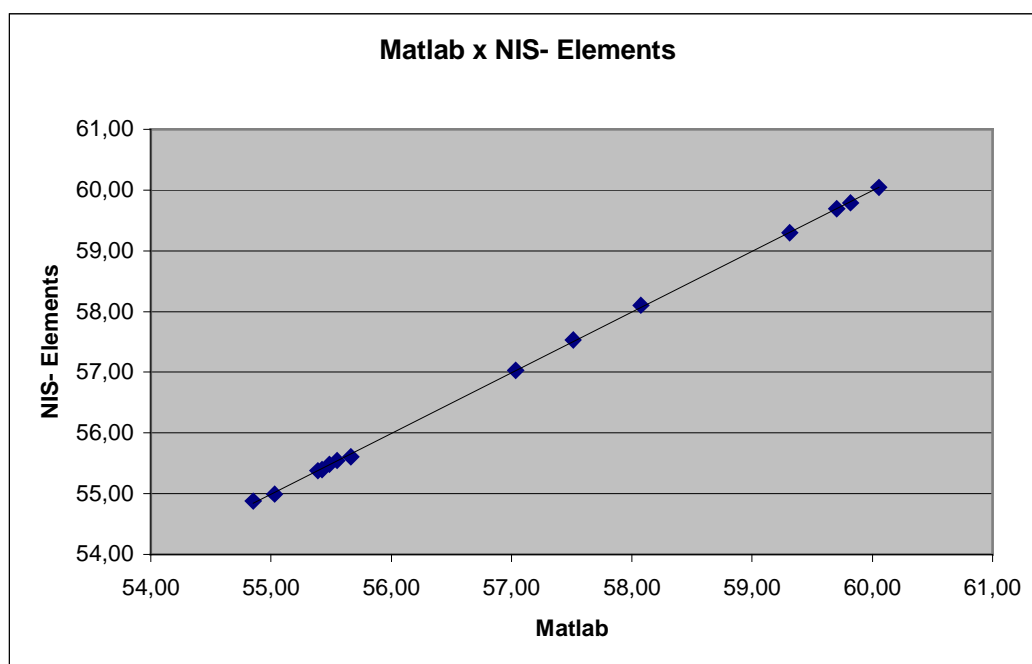
6.3.1 Korelace a regrese mezi použitými metodami - vzorek č.1

Korelační koeficient $r_k = 0,999840$



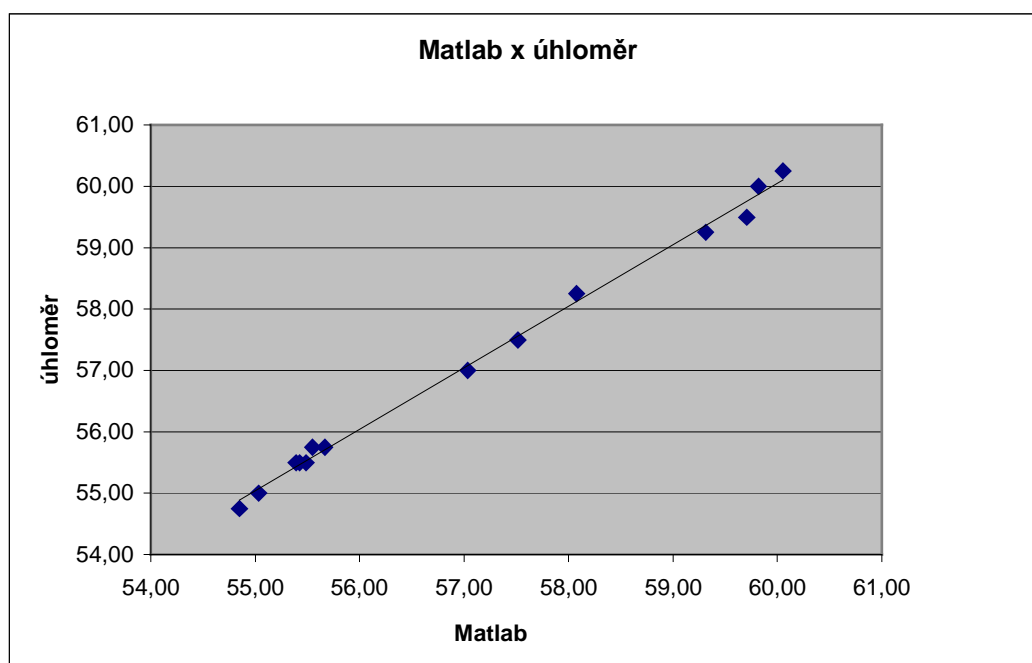
Graf 7: Korelace mezi metodou typu Matlab a Corel draw

Korelační koeficient $r_k = 0,999935$



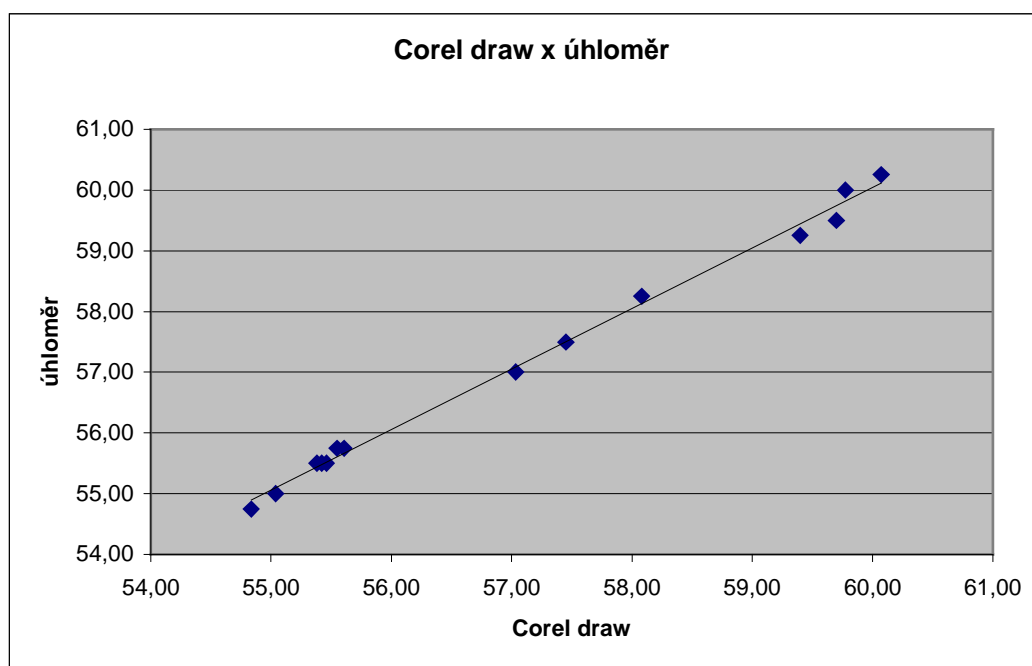
Graf 8: Korelace mezi metodou typu Matlab a NIS-Elements

Korelační koeficient $r_k = 0,998052$



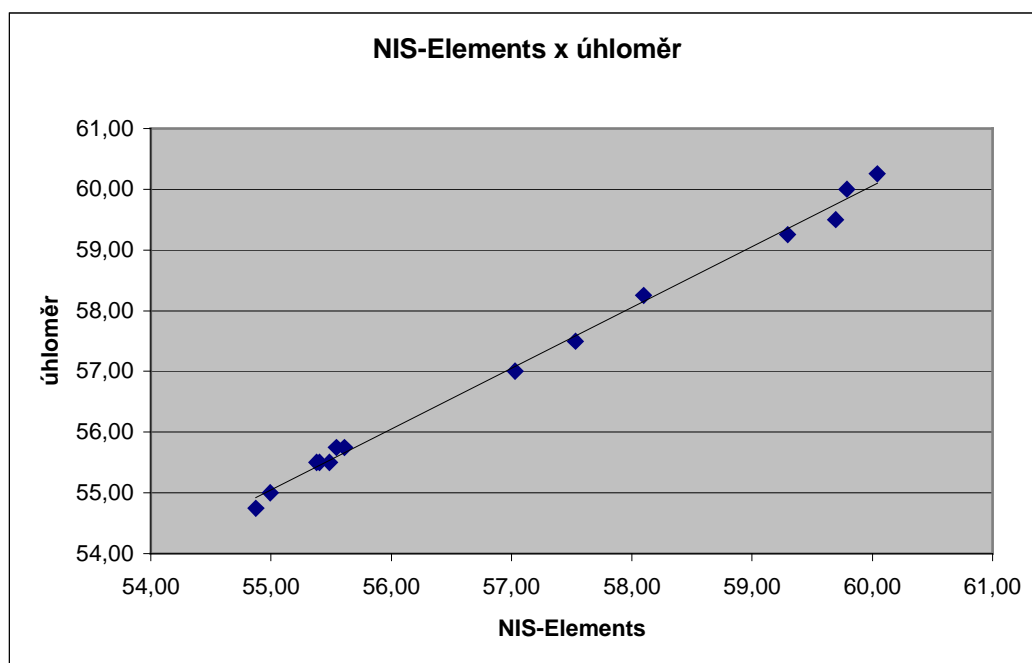
Graf 9: Korelace mezi metodou typu Matlab a úhloměr

Korelační koeficient $r_k = 0,997729$



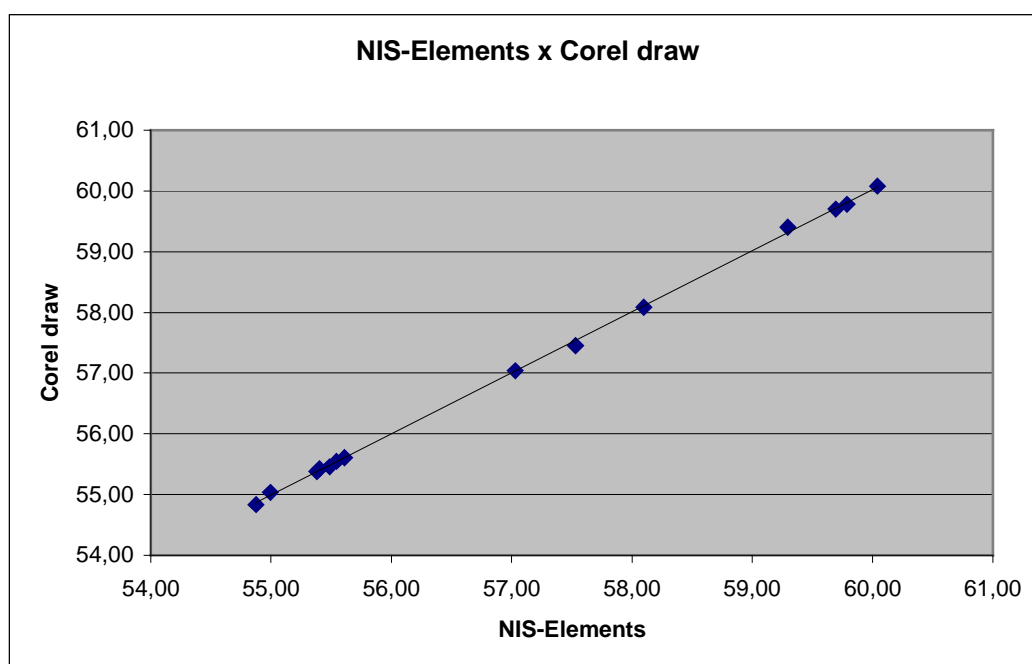
Graf 10: Korelace mezi metodou typu Corel draw a úhloměr

Korelační koeficient $r_k = 0,997897$



Graf 11: Korelace mezi metodou typu NIS-Elements a úhloměr

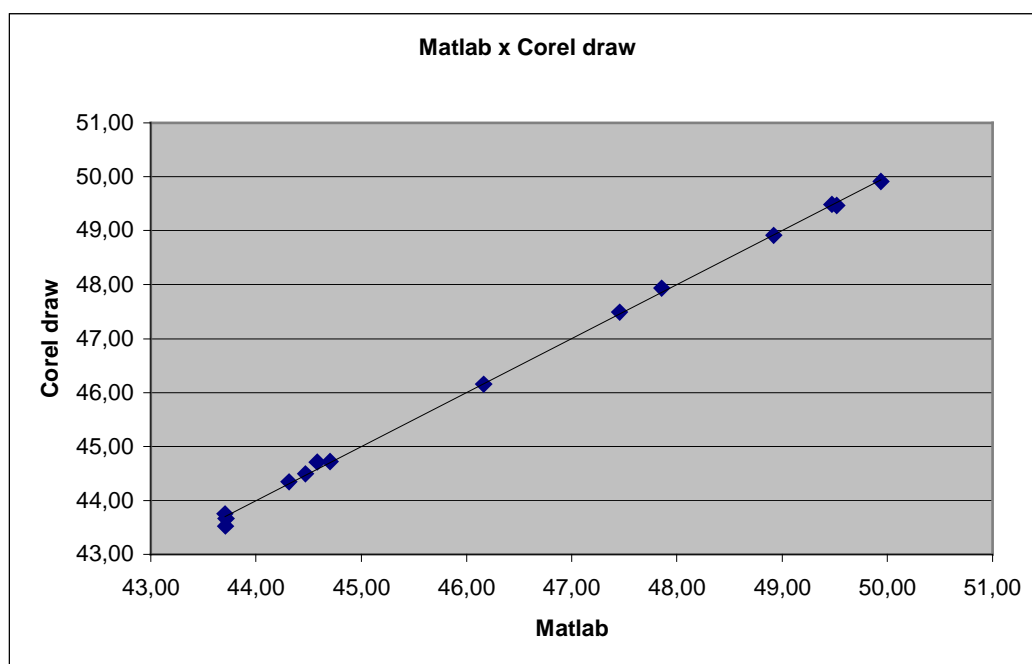
Korelační koeficient $r_k = 0,999780$



Graf 12: Korelace mezi metodou typu NIS-Elements a Corel draw

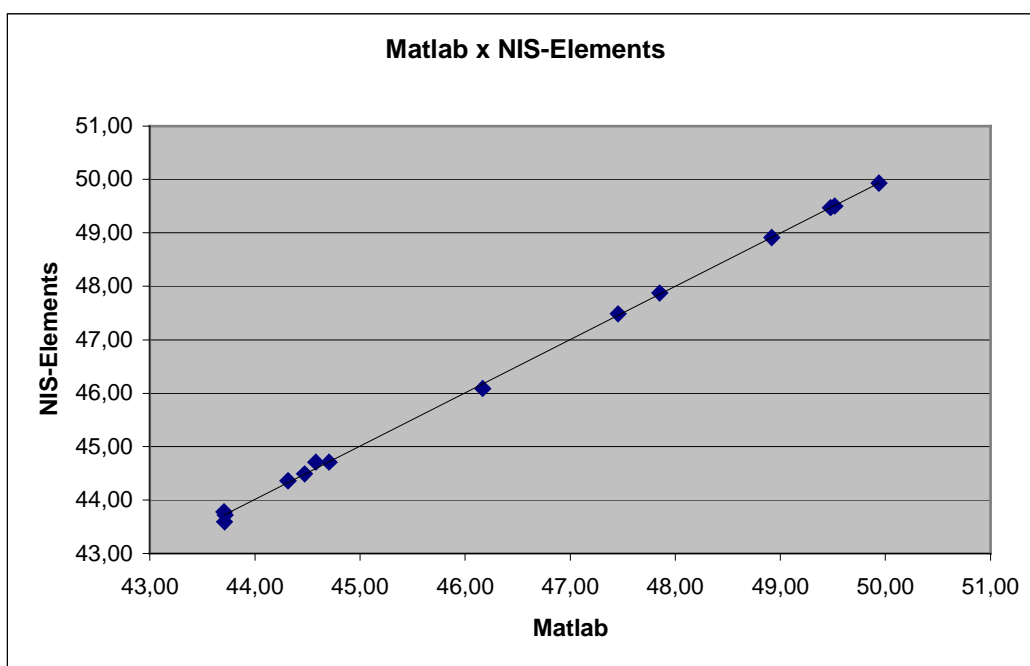
6.3.2 Korelace a regrese mezi použitými metodami - vzorek č. 2

Korelační koeficient $r_k = 0,999557$



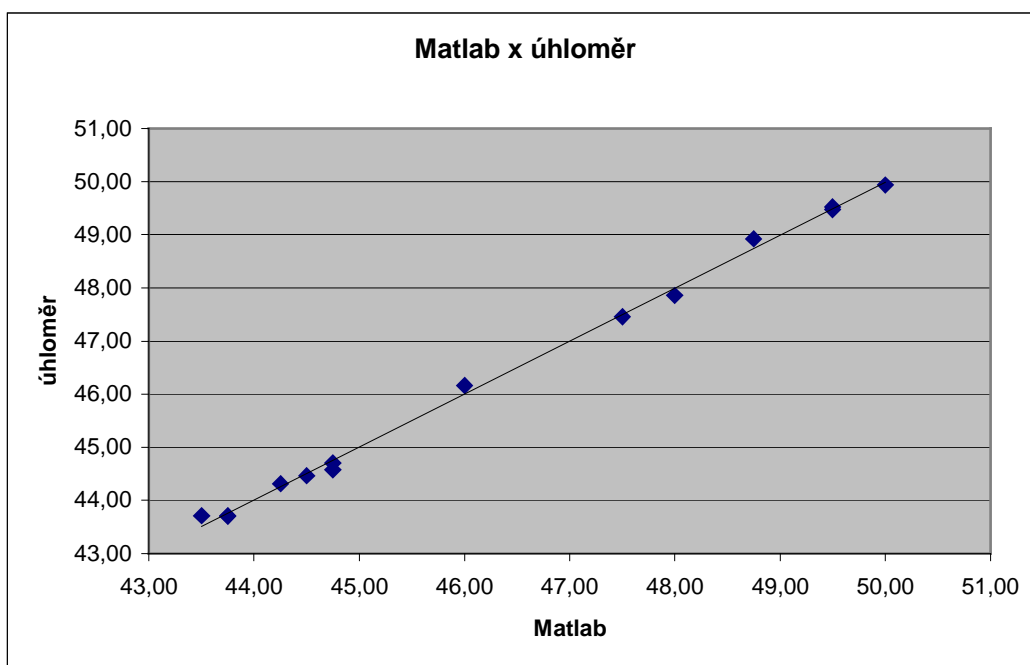
Graf 13: Korelace mezi metodou typu Matlab a Corel draw

Korelační koeficient $r_k = 0,999704$



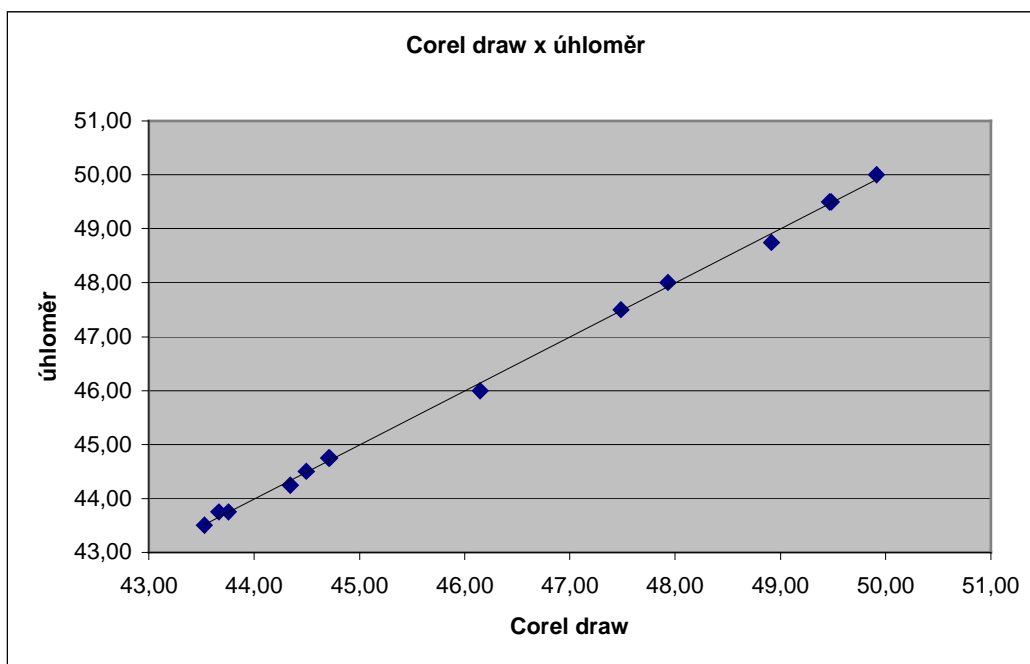
Graf 14: Korelace mezi metodou typu Matlab a NIS-Elements

Korelační koeficient $r_k = 0,998925$



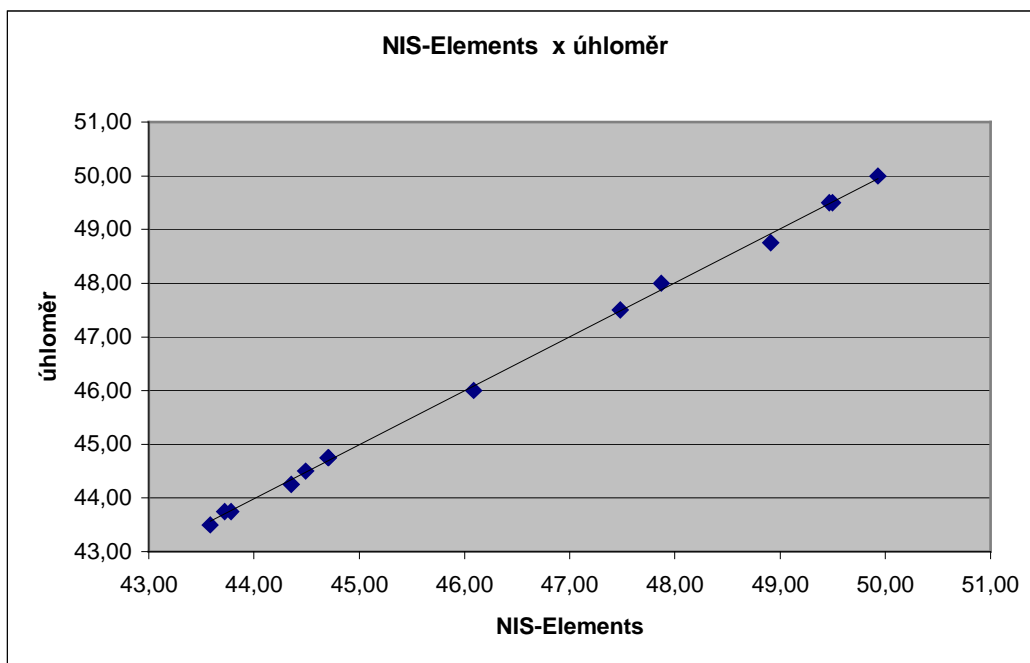
Graf 15: Korelace mezi metodou typu Matlab a úhloměr

Korelační koeficient $r_k = 0,999475$



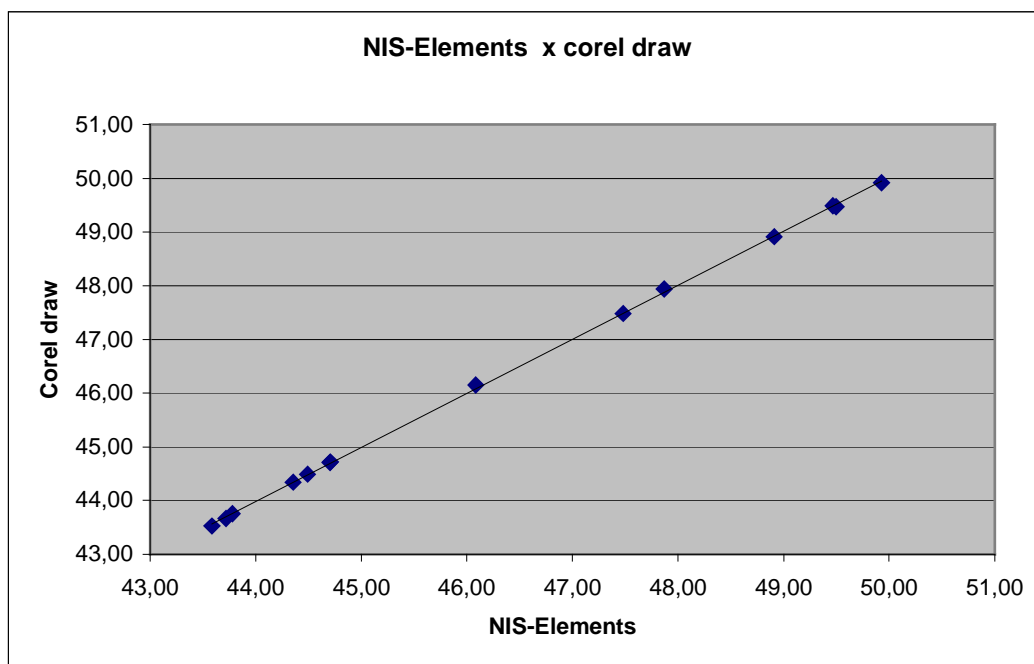
Graf 16: Korelace mezi metodou typu Corel draw a úhloměr

Korelační koeficient $r_k = 0,999508$



Graf 17: Korelace mezi metodou typu NIS-Elements a úhloměr

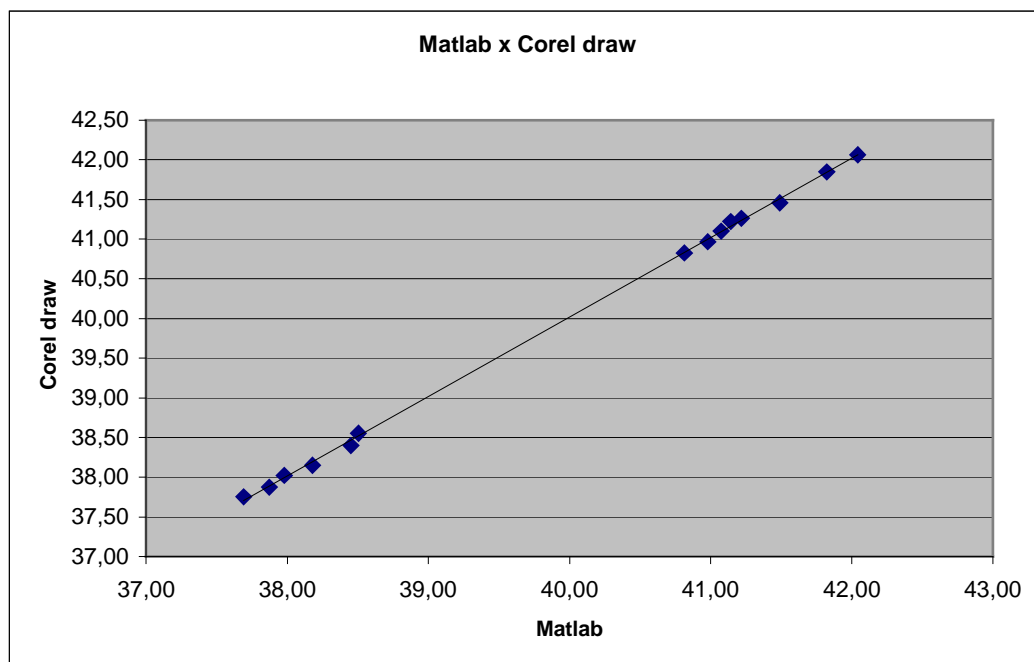
Korelační koeficient $r_k = 0,999898$



Graf 18: Korelace mezi metodou typu NIS-Elements a Corel draw

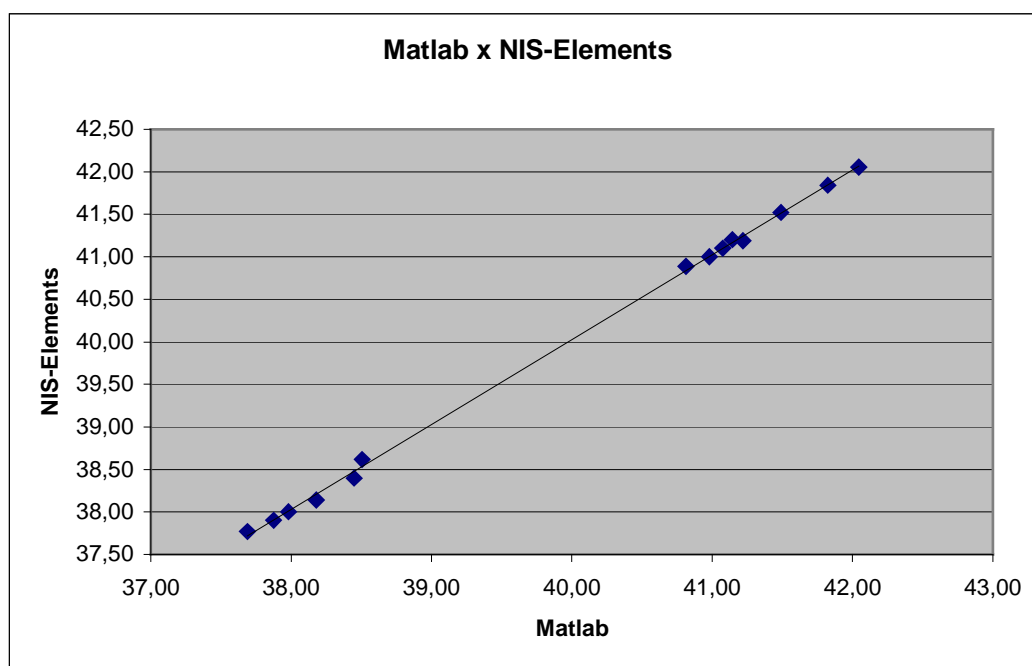
6.3.3 Korelace a regrese mezi použitými metodami - vzorek č. 3

Korelační koeficient $r_k = 0,999755$



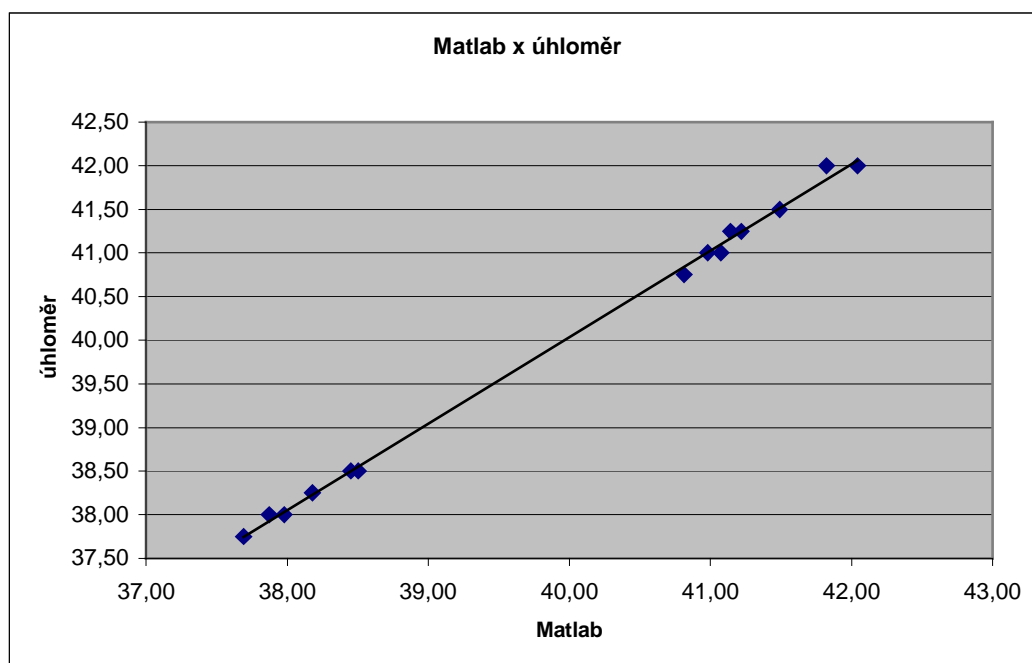
Graf 19: Korelace mezi metodou typu Matlab a Corel draw

Korelační koeficient $r_k = 0,999644$



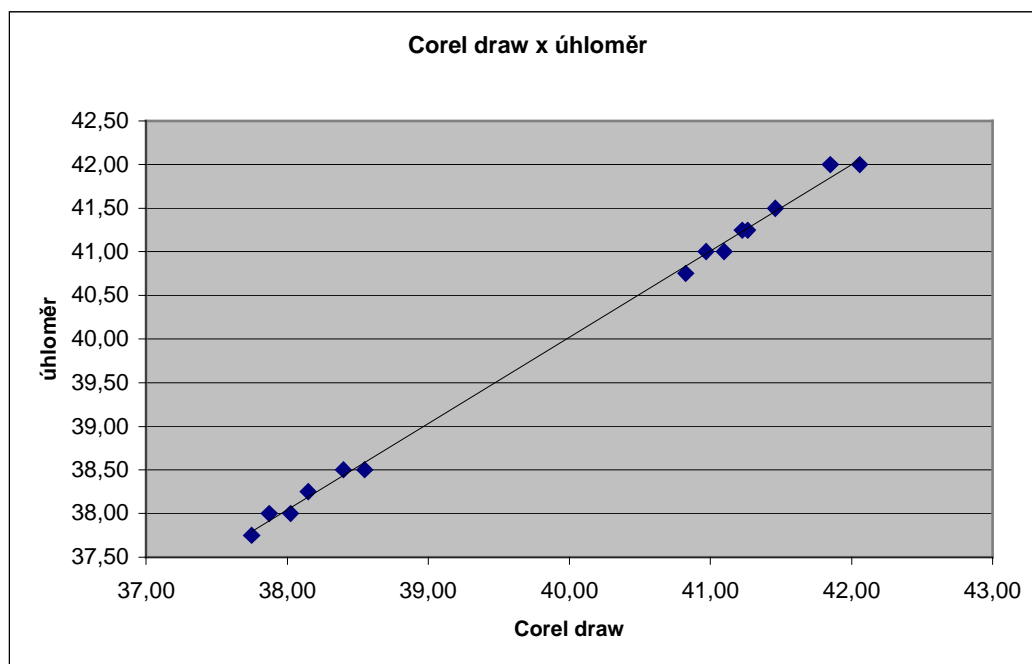
Graf 20: Korelace mezi metodou typu Matlab a NIS-Elements

Korelační koeficient $r_k = 0,999139$



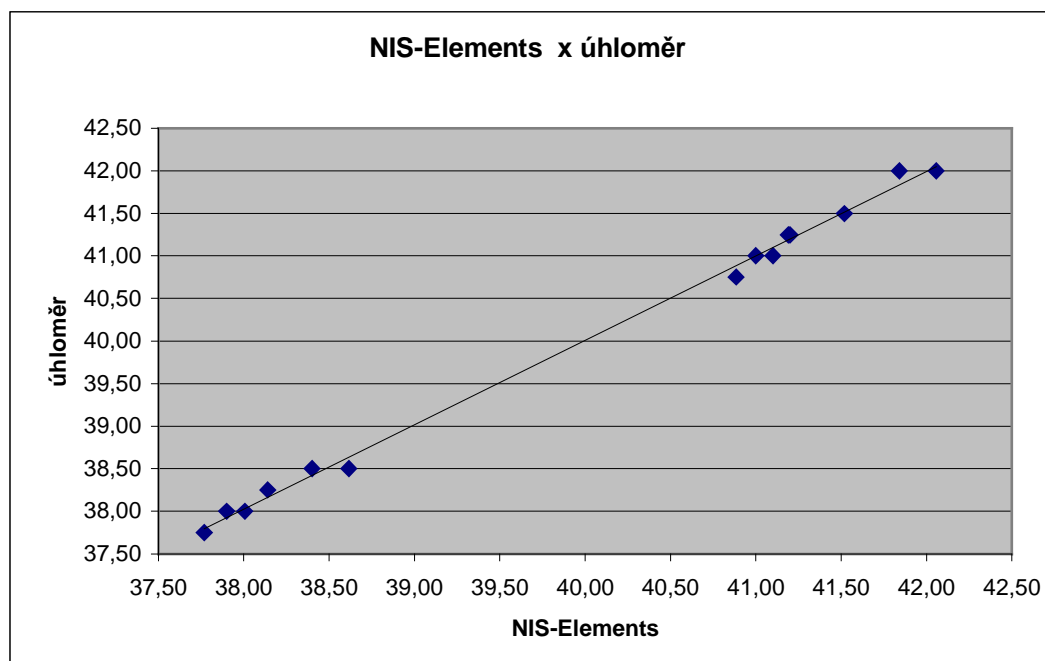
Graf 21: Korelace mezi metodou typu Matlab a úhломěr

Korelační koeficient $r_k = 0,998970$



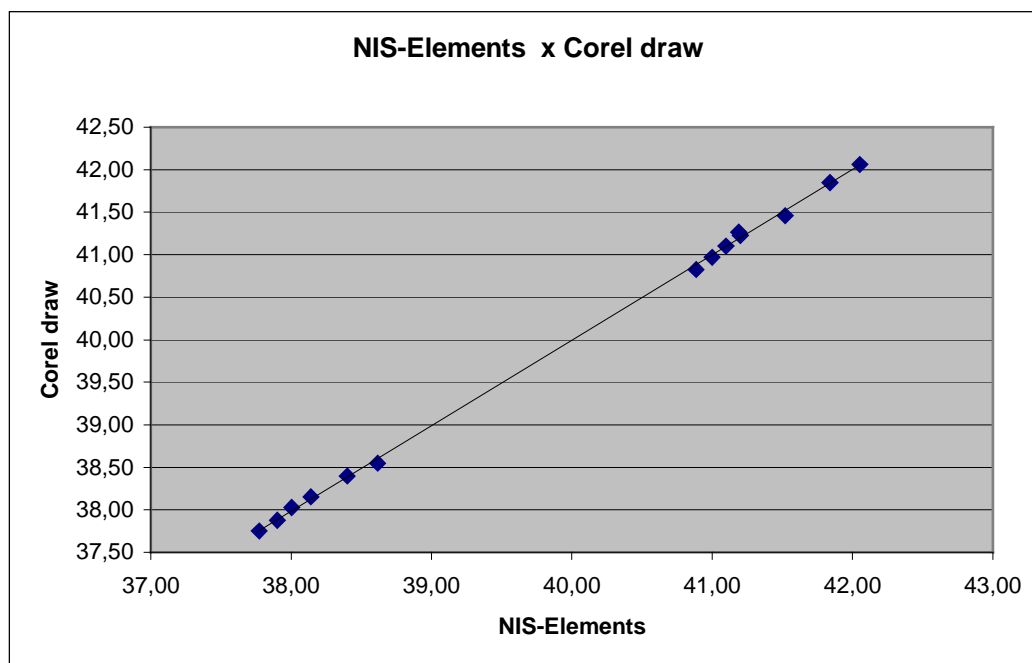
Graf 22: Korelace mezi metodou typu Corel draw a úhloměr

Korelační koeficient $r_k = 0,998557$



Graf 23: Korelace mezi metodou typu NIS-Elements a úhloměr

Korelační koeficient $r_k = 0,999744$



Graf 24: Korelace mezi metodou typu NIS-Elements a Corel draw

Z provedené analýzy výsledků měření vyplývá, že shody všech použitých metod jsou velmi vysoké. Na základě výše uvedeného je možno konstatovat, že mezi naměřenými hodnotami jsou jen nepatrné odchylky.

Z provedeného porovnání výsledků je patrné, že u všech vzorků jsou největší prokázána shoda vzhledem k hodnotě korelačního koeficientu při provádění měření při užití metod Corel Draw a NIS- Elements. Vysokou shodu s těmito metodami vykazuje i metoda měření pomocí programu Matlab.

Vysokou, ale o něco menší shodu s metodami měření pomocí programu Matlab, Corel draw a NIS-Elements, vykazuje metoda měření pomocí ručního úhloměru. Tato nižší shoda je ovlivněna menším rozsahem měřidla a tím, že hodnoty jsou měřeny s přesností v rozsahu $\pm 0,5^\circ$.

6.4 Diskuse výsledků

Jak již bylo konstatováno dříve, shoda hodnot naměřených při užití všech zkoumaných metod je značně vysoká, což svědčí o tom, že kvalita provedených měření je velmi vysoká.

Metoda měření úhlu zotavení pomocí ručního úhlooměru byla metodou nejdostupnější. Výhodou této metody byla nenáročnost na vybavení potřebné k měření úhlu zotavení.

Vzhledem k omezenému rozsahu měřidla se ovšem nejednalo o metodu vykazující vysokou přesnost měření. Další nepřesnost této metody spočívala zejména v tom, že přesnost měření závisela především na přesnosti činnosti obsluhy provádějící měření. Naměřené hodnoty musely být zaznamenávány obsluhou a následně zpracovávány v programu Microsoft Excel.

Metoda měření úhlu zotavení pomocí programu Corel draw 9 byla už poněkud přesnější než předchozí metoda. Tato metoda měření umožňující aplikaci programu Corel draw 9 byla výhodnější z hlediska rozsahu měření (desetinná místa). Nevýhoda této metody spočívá především v tom, že přesnost měření je ovlivněna obsluhou programu. Program neumožňuje průběžné zaznamenávání naměřených hodnot. Naměřené hodnoty musely být zaznamenávány obsluhou a následně zpracovávány v programu Microsoft Excel.

Princip provádění měření pomocí metody měření úhlu zotavení pomocí programu NIS-Elements byl velmi podobný principu metody měření úhlu zotavení pomocí programu Corel draw 9.

U obou těchto programů byl stejný rozsah měření (desetinná místa). Analogicky jako u programu Corel draw 9 byla nevýhodou užití programu NIS-Elements skutečnost, že kvalita měření je závislá na obsluze. Výhodou tohoto programu bylo automatické průběžné zaznamenávání hodnot do tabulky. Následné zpracování hodnot do grafu bylo provedeno v programu Microsoft Excel.

Metoda měření úhlu zotavení pomocí programu Matlab je velmi rychlá a do jisté míry i nejpřesnější. U této metody především záleží na kvalitě zpracovávaných

fotografií, především se jedná o možná zkreslení výsledků z důvodu výskytu nežádoucí odstávající příze či vlákna. K tomuto zkreslení může dojít v důsledku toho, že v průběhu zpracování fotografie si program sám určuje výchozí body pro určení výpočtu úhlů. Je tudíž nezbytné, aby hrany snímaného vzorku byly ostré a bez rušivých elementů.

Na základě výše uvedeného doporučuje autorka této diplomové práce, aby před použitím této metody byly fotografie pečlivě prohlédnuty a v případě nutnosti byly, pomocí příslušného programu na úpravu fotografií, tyto nežádoucí prvky z fotografií odstraněny. Tato podmínka na zpracování fotografií se jeví jako výrazná nevýhoda pro užití této metody.

Velkou předností dané metody je snadná opakovatelnost měření, neboť výsledky naměřené u dané série fotografií, se i po zopakování celého cyklu měření, shodují s výsledky předešlého měření.

Další výhodou je skutečnost, že po ukončení měření se provádí okamžité automatické zaznamenání naměřených hodnot a vykreslení grafů.

Srovnání metod lze provést na základě několika hledisek:

- **kvalita fotografií**

Kvalita a vzhled fotografií byla důležitá nejvíce u metody měření úhlu zotavení pomocí programu Matlab. U ostatních metod není toto hledisko autorkou této práce považováno za nejdůležitější.

- **přesnost měření**

Přesnost měření u metod měření úhlu zotavení pomocí programu Corel draw, NIS-Elements a pomocí ručního měření byla dána obsluhou, u metody měření pomocí programu Matlab byla přesnost měření dána samotným programem bez zásahu obsluhy.

Nepřesnost měření u metody měření úhlu zotavení pomocí programu Matlab mohla být dána kvalitou fotografií, tzn. vyčnívajícími vlákny, která nebyla z fotografie odstraněna.

- **průběžné zaznamenávání a vyhodnocení hodnot měření**

U metod měření úhlu zotavení pomocí programu Corel draw a u měření úhlu zotavení pomocí ručního úhloměru byly obsluhou zaznamenávány a zpracovávány hodnoty a vypracován grafu pomocí programu Microsoft Excel.

U metod měření úhlu zotavení při užití programu NIS-Elements byly hodnoty automaticky průběžně zaznamenávány programem, následné zpracování hodnot a vykreslení grafu bylo provedeno v programu Microsoft Excel.

U metod měření úhlu zotavení pomocí programu Matlab byly výsledné hodnoty automaticky zaznamenávány a následně byly automaticky vykresleny i grafy.

- **reprodukovatelnost měření**

Při opětovném měření stejné série fotografií byly při užití měření úhlu zotavení pomocí programu Matlab získány vždy stejné výsledky.

U ostatních metod je při opětovném měření ve většině opakovaných měření naměřena nepatrně rozdílná hodnota než byla hodnota předchozí, tato skutečnost se jeví jako značný nedostatek zmíněných metod.

Z tohoto důvodu je doporučeno při užití jiných metod (rozumí se metod uvedených v této diplomové práci) než metody měření úhlu zotavení pomocí programu Matlab provádět několik měření stejné série fotografií a posléze vypočítat z těchto hodnot průměrné hodnoty úhlu zotavení.

7 Závěr

V současné době není vyvinuto velké množství metod pro měření úhlu zotavení po ukončení tvarování.

Cílem diplomové práce bylo navržení a následné porovnání různých typů metod vyhodnocení úhlů zotavení nasnímaných pomocí digitálního fotoaparátu.

V experimentální části byly navrženy čtyři metody vyhodnocení úhlu zotavení nasnímaných pomocí digitálního fotoaparátu. Zvolené metody měření úhlu zotavení byly, měření úhlu zotavení pomocí ručního úhloměru, měření úhlu zotavení pomocí programů Corel draw a NIS-Elements a Matlab.

Navržené metody se od sebe lišily přístroji použitými pro měření úhlu zotavení a také softwarovým vybavením použitým pro vyhodnocování naměřených úhlů zotavení. Rozdíly těchto metod spočívaly také v rychlosti vyhodnocení úhlu zotavení, v přesnosti vyhodnocení úhlu zotavení a v nutnosti zásahu obsluhy během měření.

V průběhu experimentální části byl úhel zotavení třech vzorků plošných textilií vyhodnocen pomocí všech navržených metod. Při následném porovnávání výsledků vyplynulo, že mezi jednotlivými měřeními prováděnými těmito metodami byly nepatrné, nicméně zjevné, rozdíly naměřených hodnot. Tyto rozdíly byly dány typem použité metody.

Metody měření úhlu zotavení pomocí ručního úhloměru, pomocí programu Corel draw a pomocí programu NIS-Elements se řadí mezi subjektivní metody, kde přesnost výsledku byla závislá na schopnosti a spolehlivosti obsluhy. U metody měření úhlu zotavení pomocí ručního úhloměru byl navíc výsledek negativně ovlivněn také rozsahem měřidla, který byl $\pm 0,5^\circ$.

U výše zmíněných subjektivních metod musely být výsledné hodnoty měření úhlu zotavení zaznamenávány a zpracovány do grafické podoby pomocí programu Microsoft Excel. Pouze metoda měření úhlu zotavení pomocí programu NIS-Elements měla funkci automatického průběžného zaznamenávání měřených hodnot, konečné grafické zpracování při užití tohoto programu bylo provedeno také pomocí programu Microsoft Excel.

Metoda měření úhlu zotavení pomocí programu Matlab se řadí do skupiny objektivních hodnocení. Přesnost měření u této metody je dána samotným programem. Zásah obsluhy je u této metody ve srovnání s předešlými metodami minimální.

Během měření obsluha nezasahovala do průběhu měření, pouze zadávala prvotní potřebné hodnoty a informace potřebné ke zpuštění zpracování obrazu a následného měření úhlu zotavení.

Jednalo se tedy pouze o zadání vstupních informací pro následné automatické zpracování obrazu a automatické měření úhlu zotavení.

Velkým kladem této metody bylo i automatické zpracování a zaznamenání měřených dat a následné grafické zpracování.

Při použití této metody měření a vyhodnocení měřených hodnot úhlu zotavení byl kladen velký důraz na kvalitu digitálních fotografií, která ovlivňovala přesnost měření úhlu zotavení. Vzhledem k tomu, že program Matlab v průběhu zpracování obrazu vyobrazí i nepatrné detaily, jako je např. odstávající příze či vlákna, která mohou zasáhnout do oblasti měření, může touto skutečností být negativně ovlivněn i výsledek měření.

Na základě výše uvedeného, je doporučeno před samotným zpracováním a měřením úhlu zotavení, prohlédnout detailně digitální fotografie pomocí programu pro úpravu fotografií a nežádoucí jevy z digitální fotografie odstranit.

Přínos metody měření a vyhodnocení úhlu zotavení pomocí programu Matlab k řešení zadaného problému je významný, a to zejména díky možnosti přesného měření úhlu zotavení vzorků plošných textilií nasnímaných pomocí digitálního fotoaparátu. Předností užití programu Matlab při měření a vyhodnocování úhlu zotavení textilií je nenáročnost při používání programu, ale také rychlost měření, následného zaznamenávání a zpracování měřených dat.

Při konečném srovnání všech metod měření a vyhodnocení úhlu zotavení, analyzovaných v rámci diplomové práce, byla prokázána vzájemná vysoká shoda výsledků získaných těmito metodami. Na základě této shody bylo dokázáno, že výsledky měření jsou téměř shodné. S přihlédnutím k této shodě a výše popsáním výhodám při měření a zpracování dat pomocí programu Matlab je tedy možno konstatovat, že navržená metoda měření úhlu zotavení pomocí programu Matlab je velmi kvalitní a přesná metoda poskytující přesné výsledky.

8 Seznam použité literatury

- [1] BOHANESOVÁ, B a kol.: *Oděvní materiály*. Praha:SNLT, 1988
- [2] BLAŽEJ, A., ŠUTÁ, Š. *Vlastnosti textilních vláken*. Bratislava: Alfa, 1982
- [3] GERŠAK, J.: *Study of relationship between fabric elastic potential and garment appearance quality*, International Journal of Clothing Science and Technology, Vol. 16 No. ½, 2004, pp.238-251
- [4] HAVELKA, A., HALASOVÁ, A.: *Tepelné a vlhkotepelné tvarování v konfekci*. TU v Liberci, 2003, 80-7083-713-6
- [5] HLADÍK, V. a kol.: *Textilní vlákna*. Praha:SNLT, 1967
- [6] KARBA, P.: *Výpočty a simulace v programech matlab a Simulink*. Brno: Computer press, 2006, 80-251-1301-9
- [7] KOŠKOVÁ, B: *Struktura a vlastnosti vláken*. VŠST v Liberci, 1989
- [8] KOVAČIČ, V. *Zkoušení textilií*.
- [9] KOVÁŘ, R.: *Struktura a vlastnosti plošných textilií*. TU v Liberci, 2003, 80-7083-676-8
- [10] KOZUMPLÍK, J., KOLÁŘ, R., JAN, J. *Číslicové zpracování signálů v prostředí Matlab*. Číslicové zpracování signálů v prostředí Matlab. Brno: VUT v Brně, FEI
- [11] MARTINOVÁ, L. průvodce studiem netkaných textilií
- [12] MATSUO, T: *Crease and elastic recovery of fibers*. Journal of The Textile Machinery Society of Japan, Vol. 10, No.1, 1964, pp 37-43
- [13] MEVALD, J.: *Pružnost a pevnost pro textilní inženýry*. VŠST v Liberci, skriptum fakulty strojní, 1984, 55-801-84
- [14] MILITKÝ, J.: *Textilní vlákna speciální vlákna – přednášky*. TU v Liberci, 2007, 978-80-7372-169-5
- [15] MILITKÝ, J.: *Technické textilie*. TU v Liberci, 2002, 80-7083-590-7
- [16] MILITKÝ, J : *Matlab a analýza dat*, TU v Liberci, 2002
- [17] PRIBULOVÁ, E.: *Charakteristika krčivosti tkaniny jako funkcia krivky zotavenia*. DP Liberec 1981
- [18] STANĚK, J, KUBÍČKOVÁ, M.: *Oděvní materiály*. VŠST v Liberci, 1985
- [19] STANĚK, J.: *Nauka o textilních materiálech, Vlastnosti vláken, část III. .* VŠST v Liberci, 1986
- [20] STANĚK, J.: *Nauka o textilních materiálech, Vlastnosti délkových a plošných textilií*, Díl1, část 4., VŠST v Liberci, 1988
- [21] STANĚK. J.: *Textilní zbožíznalství. Vláknenné suroviny, příze, nitě*. TU v Liberci, 2006, 80-7372-147-3
- [22] ŠMIRÁK, S.: *Pružnost a plasticita*. VUT v Brně, 1999, 80-214-1151-1
- [23] WANG. G, POSTLE, R., PHILLIPS, D.G, ZHANG, W.: *Pressing performance of light-weight wool blend fabrics*. International Journal of Clothing Science and Technology, Vol. 14 No. 2, 2002, pp.119-131
- [24] <http://www.sotex.cz/>
- [25] http://www.kod.tul.cz/info_predmety/Om/cviceni/MACKAVOST.pdf

Seznam obrázků

Obrázek 1: Schématické znázornění makromolekul lineárního(a), rozvětveného(b) a zesíťovaného polymeru (c).

Obrázek 2: Pevnost textilních vláken v závislosti na teplotě(20,100,150,200°C).

Obrázek 3: Graf ohřevu vysokomolekulárních látek

Obrázek 4: Přemístění amorfních segmentů makromolekul

Obrázek 5: Posuv (skluz) molekul při působení vnější síly

Obrázek 6: Graf přechodových oblastí

Obrázek 7: Struktura vláken

Obrázek 8: Vliv ohybu na deformaci průřezu

Obrázek 9: Průřez plošnou textilií

Obrázek 10: Průřez přízemi v místě ohybu

Obrázek 11: Křivka průběhu deformace (úhlu zotavení)-mezní úhel zotavení je π

Obrázek 12: Znázornění průběhu deformací

Obrázek 13: Vetknutý nosník se spojitým zatížením

Obrázek 14: Řez vetknutého nosníku se spojitým

Obrázek 15: Deformace a napětí při ohybu

Obrázek 16: Model zotavení tkanin po ohybové deformaci

Obrázek 17: Schématický popis experimentu

Obrázek 18: Zařízení pro uchycení vzorku textile použité na hodnocení úhlu zotavení

Obrázek 19: Tabulka pro nastavení počtu fotografií v požadovaném čase

Obrázek 20: Výsledná fotografie

Obrázek 21: Měření úhlu zotavení pomocí ručního úhloměru

Obrázek 22: Soubor importovat

Obrázek 23: Fotografie importována

Obrázek 24: Dolní přímký, pravé a levé rameno

Obrázek 25: Dolní lišta s úhlem α

Obrázek 26: Dolní lišta s úhlem β

Obrázek 27: Okno po spuštění programu

Obrázek 28: Výběr fotografie se složky

Obrázek 29: Importovaná fotografie

Obrázek 30: Změřené úhly s automatickým zaznamenáním naměřených hodnot

Obrázek 31: Tabulka výsledných naměřených hodnot úhlů zotavení textilie

Obrázek 32: Originální fotografie

Obrázek 33: Upravená fotografie

Obrázek 34: Okno s příkazy pro spuštění zpracování obrazu a měření úhlu zotavení

Obrázek 35: Fotografie v šedotónovém provedení

Obrázek 36: Výpočet hran pomocí sobelové masky

Obrázek 37: Složení hran do jednoho obrazu

Obrázek 38: Prahovaný obraz

Obrázek 39: Odstranění šumů typu „pepř a sůl“

Obrázek 40: Morfologie obrazu

Obrázek 41: Výřez č. 1 – snímání bodu pravého α a levého β .

Obrázek 42: Výřez č. 2 – snímání dolních bodů

Obrázek 43: Okno se zadanými a průběžnými hodnotami měření úhlu zotavení

Obrázek 44: Okno se zadanými a výslednými hodnotami

Obrázek 45: Výsledný graf úhlu zotavení

Obrázek 46: Výsledný detailní graf úhlu zotavení

Seznam tabulek

Tabulka 1: Orientační hodnoty teplot

Tabulka 2: Symboly doporučených teplot při žehlení

Tabulka 3: Průřezové veličiny

Tabulka 4: Výsledné hodnoty úhlů zotavení

Tabulka 5: Výsledné hodnoty úhlů zotavení

Tabulka 6: Výsledné hodnoty úhlů zotavení

Tabulka 7: Rozdíl měření u metod typu Matlab a Corel draw

Tabulka 8: Rozdíl měření u metod typu Matlab a úhloměru

Tabulka 9: Rozdíl měření u metod typu Matlab a NIS-Elements

Tabulka 10: Rozdíl měření u metod typu Matlab a Corel draw

Tabulka 11: Rozdíl měření u metod typu Matlab a NIS-Elements

Tabulka 12: Rozdíl měření u metod typu Matlab a úhloměr

Tabulka 13: Rozdíl měření u metod typu Matlab a Corel draw

Tabulka 14: Rozdíl měření u metod typu Matlab a NIS-Elements

Tabulka 15: Rozdíl měření u metod typu Matlab a úhloměr

Seznam grafů

- Graf 1: Detailní graf úhlů zotavení dle typu použité metody
Graf 2: Detailní graf úhlů zotavení dle typu použité metody
Graf 3: Detailní graf úhlů zotavení dle typu použité metody
Graf 4: Porovnání výsledků dle typu použitého měření
Graf 5: Porovnání výsledků dle typu použitého měření
Graf 6: Porovnání výsledků dle typu použitého měření
Graf 7: Korelace mezi metodou typu Matlab a Corel draw
Graf 8: Korelace mezi metodou typu Matlab a NIS-Elements
Graf 9: Korelace mezi metodou typu Matlab a úhloměr
Graf 10: Korelace mezi metodou typu Corel draw a úhloměr
Graf 11: Korelace mezi metodou typu NIS-Elements a úhloměr
Graf 12: Korelace mezi metodou typu NIS-Elements a Corel
Graf 13: Korelace mezi metodou typu Matlab a Corel draw
Graf 14: Korelace mezi metodou typu Matlab a NIS-Elements
Graf 15: Korelace mezi metodou typu Matlab a úhloměr
Graf 16: Korelace mezi metodou typu Corel draw a úhloměr
Graf 17: Korelace mezi metodou typu NIS-Elements a úhloměr
Graf 18: Korelace mezi metodou typu NIS-Elements a Corel draw
Graf 19: Korelace mezi metodou typu Matlab a Corel draw
Graf 20: Korelace mezi metodou typu Matlab a NIS-Elements
Graf 21: Korelace mezi metodou typu Matlab a úhloměr
Graf 22: Korelace mezi metodou typu Corel draw a úhloměr
Graf 23: Korelace mezi metodou typu NIS-Elements a úhloměr
Graf 24: Korelace mezi metodou typu NIS-Elements a Corel draw

Přílohová část

Seznam příloh

Číslo přílohy	Název přílohy	Citováno na str.
P1-12	Porgram – úhel zotavení Matlab	STRANA 47
P13-19	Průběh měření a výpočtu úhlu zotavení v porgramu Matlab vzorek 1.	strana 57
P20-26	Průběh měření a výpočtu úhlu zotavení v porgramu Matlab vzorek 2.	strana 57
P27-33	Průběh měření a výpočtu úhlu zotavení v porgramu Matlab vzorek 3.	strana 57
P34	Výsledné hodnoty úhlu zotavení měřené v programu NIS-Elements vzorek 1.	strana 46
P35	Výsledné hodnoty úhlu zotavení měřené v programu NIS-Elements vzorek 2.	strana 46
P36	Výsledné hodnoty úhlu zotavení měřené v programu NIS-Elements vzorek 3.	strana 46
P37-42	Grafické zpracování měřených hodnot úhlu zotavení vzorek 1.	strana 58
P43-48	Grafické zpracování měřených hodnot úhlu zotavení vzorek 2.	strana 58
P49-54	Grafické zpracování měřených hodnot úhlu zotavení vzorek 3.	strana 58
P 55	Digitální fotografie- vzorek č. 1	
P 56	Digitální fotografie- vzorek č. 2	
P 57	Digitální fotografie- vzorek č. 3	

Program – úhel zotavení Matlab

1. Hlavní funkce pro spouštění výpočtu úhlu zotavení

clc%hlavni funkce pro spusteni vypoctu uhlu zotaveni

clear all; %smaze promenne

clc; % vycisti plochu

warning off % vypina varovani

%NACTENI FOTKY

disp('Zadej adresar se zpracovavanimi fotografiemi');%napise hlaseni v Command window

adresar= input('adresar=', 's'); %ceka na zadani adresare

disp('Zadej nazev fotografie bez koncoveho cisla a pripony .jpg');%napise hlaseni v Command window

nazevfoto= input('nazev fotografie=', 's');

cislo=1;

opakovani='a'; % postupne zpracovani vice fotek

while opakovani=='a'

 close all; %zavre figure

 disp('Zadej dobu snimani uhlu v minutach');

 doba(1,cislo)= input('doba snimani='); %ceka na zadani doby snimani

 cesta=[adresar,nazevfoto,num2str(cislo),'.jpg'];

 a=imread(cesta); %nacte foto do promenne a

 a=rgb2gray(a);%prevod barev

 figure (1)

 imagesc(a);%vykresli fotku

 colormap(gray);%definuje barvy

%VYPOCET UHLU ZOTAVENI

 if cislo==1

 [uhel_zotaveni(1,cislo),prah,osax1,osay1,osax2,osay2]=vypocetuhluzotaveni(a,cislo);% volame funkci pro vlastni vypocet uhlu zotaveni

 else

 uhel_zotaveni(1,cislo)=vypocetuhluzotaveni2(a,prah,osax1,osay1,osax2,osay2,cislo);% volame funkci pro vlastni vypocet uhlu zotaveni

 end

end

%ZPRACOVANI DALSI FOTOGRAFIE

```
disp('Chcete zpracovat dalsi fotografii? ano=a ne=n');  
opakovani=input('dalsi fotografie=', 's');  
cislo=cislo+1;  
end
```

%VYKRESLENI GRAFU

```
close all; %zavre figure  
figure(1)  
semilogx(doba,uhel_zotaveni,'k*--');title('Zavislost uhlu zotaveni v case');  
xlabel('cas [min]');ylabel('uhel zotaveni [°]');%popis os  
disp('Hodnoty casu mereni a uhlu zotaveni');  
hodnoty(1,:)=doba;  
hodnoty(2,:)=uhel_zotaveni  
tabulka = hodnoty(1,:);  
tabulka(2,:) = hodnoty(2,:);  
xlswrite('vysledky_mereni.xls', tabulka);
```

2. Zpracování fotografie pro úhle a výpočet úhlu zotavení

```
function [uhelzotaveni,prah,osax1,osay1,osax2,osay2]=vypocetuhluzotaveni(a,cislo)
```

% VYPOCET HRAN

```
%maska Sobelova  
hsobx=[-1,0,1;-2,0,2;-1,0,1];%sobeluv operator pro hrany y  
hsoby=[-1,-2,-1;0,0,0;1,2,1];%sobeluv operator pro hrany x  
axsob=conv2(a,hsobx,'same');%vypocet x hran=konvoluce mezi a a hsobx  
aysob=conv2(a,hsoby,'same');%vypocet y hran  
figure (2)  
subplot(1,2,1)  
imagesc(axsob);colormap(gray);title('sobelova maska x')  
subplot(1,2,2)  
imagesc(aysob);colormap(gray);title('sobelova maska y')
```

%SLOZENI HRAN

```
gsob=max(abs(axsob), abs(aysob)); %slozeni x hran a y hran dohromady  
figure (3)  
imagesc(gsob);colormap(gray);title('slozeni hran')
```

%PRAHOVANI

% preruseni chodu programu-zadani hodnot v Command window

opakovani='a';

while opakovani=='a'

 disp('Zadej hodnotu prahu z obrazku 3 v rozsahu 0 az 1000');

 prah=input('prah=');%definice prahu

 pp=zeros(size(a));%vytvorime novy obrazek, cerny

 pp(gsob>prah)=1;

 figure (4)

 imagesc(pp);colormap(gray);title('prahovane hrany')

 % medianovy filtr (pepr a sul)

 ppas=medfilt2(pp,[5 5]);

 figure, imagesc(ppas);colormap(gray);title('medianovy filtr');

 %morfologicka operace

 se = strel('line',60,0);%definujele primku

 p= imclose(ppas,se);

 figure, imagesc(p);colormap(gray);

 disp('Zkontrolujte vysledek prahovani v obrazku 6. Chcete zadat hodnotu prahu znovu? ano=a ne=n');

 opakovani=input('znovu zadat hodnotu prahu=', 's');%definice prahu

end

%VYPOCET BODU

% preruseni chodu programu-zadani hodnot v Command window

disp('Zadej oblasti z obrazku 4 pro urceni vyrezu 1 pro horni a levy bod');

osax1(1,1)=input('osa x minimum=');

osax1(1,2)=input('osa x maximum=');

osay1(1,1)=input('osa y minimum=');

osay1(1,2)=input('osa y maximum=');

disp('Zadej oblasti z obrazku 4 pro urceni vyrezu 2 pro dolni ohyb a koncove body');

osax2(1,1)=input('osa x minimum=');

osax2(1,2)=input('osa x maximum=');

osay2(1,1)=input('osa y minimum=');

osay2(1,2)=input('osa y maximum=');

% VETVENI PROGRAMU PODLE VELIKOSTI UHLU

```
disp('Zadej, zda je velikost uhlu zotaveni vetsi nez 90 stupnu');
vetsinez90=input('Je uhel zotaveni vetsi nez 90 stupnu? (a/n)','s');
%vyrez 1
vp1=p(osay1(1,1):osay1(1,2),osax1(1,1):osax1(1,2));
%matice[radky,sloupce]= souradnice y, souradnice x
figure
imagesc(vp1);colormap(gray);title(' vyrez 1')
%horni bod, souradnice [x,y]
if vetsinez90=='a'
    bodhorni=najdibodhornivetsi90(vp1);% volame funkci
else
    bodhorni=najdibodhornimensi90(vp1);% volame funkci
end
bodhorni(1,1)=bodhorni(1,1)+osax1(1,1); % posun o velikost vyrezu
bodhorni(1,2)=bodhorni(1,2)+osay1(1,1);
%vlevo
if vetsinez90=='a'
    bodvlevo=najdibodvlevovetsi90(vp1);% volame funkci
else
    bodvlevo=najdibodvlevomensi90(vp1);% volame funkci
end
bodvlevo(1,1)=bodvlevo(1,1)+osax1(1,1); % posun o velikost vyrezu
bodvlevo(1,2)=bodvlevo(1,2)+osay1(1,1);
%vlevo2
bodvlevo2=najdibodvlevo2(vp1);% volame funkci
bodvlevo2(1,1)=bodvlevo2(1,1)+osax1(1,1); % posun o velikost vyrezu
bodvlevo2(1,2)=bodvlevo2(1,2)+osay1(1,1);
%vyrez 2
vp2=p(osay2(1,1):osay2(1,2),osax2(1,1):osax2(1,2)); % nutne zadat oblast, nejdriv y
pak x
figure
imagesc(vp2);colormap(gray);title(' vyrez 2');
```

```
%bod rovno dolni
boddolnivpravo=najdiboddolnivpravo(vp2);
boddolnivpravo2=najdiboddolnivpravo2(vp2,boddolnivpravo);
boddolnivpravo(1,1)=boddolnivpravo(1,1)+osax2(1,1); % posun o velikost vyrezu
boddolnivpravo(1,2)=boddolnivpravo(1,2)+osay2(1,1);
boddolnivpravo2(1,1)=boddolnivpravo2(1,1)+osax2(1,1); % posun o velikost vyrezu
boddolnivpravo2(1,2)=boddolnivpravo2(1,2)+osay2(1,1);
%bod ohyb dolni
%vypocitame jako prusecik dvou primek
%primka 1=bodvlevo,bodvlevo2
%primka 2=boddolnivpravo,boddolnivpravo2
%definujeme vektory
Dx12 = bodvlevo(1,1)-bodvlevo2(1,1);
Dx34 = boddolnivpravo(1,1)-boddolnivpravo2(1,1);
Dy12 = bodvlevo(1,2)-bodvlevo2(1,2);
Dy34 = boddolnivpravo(1,2)-boddolnivpravo2(1,2);
Dx24 = bodvlevo2(1,1)-boddolnivpravo2(1,1);
Dy24 = bodvlevo2(1,2)-boddolnivpravo2(1,2);
%vypocet pro t a s parametry
ts = [Dx12 -Dx34; Dy12 -Dy34] \ [-Dx24; -Dy24];
prusecik = ts(1)*[bodvlevo(1,1); bodvlevo(1,2)] + (1-ts(1))*[bodvlevo2(1,1);
bodvlevo2(1,2)];
boddolniohyb=round(prusecik)';
%VYPOCET UHLU
%uhel ohyb 1
vektorv=boddolnivpravo-boddolniohyb;%vypocet vektoru
vektoru=bodvlevo-boddolniohyb;
cosalfa=dot(vektorv,vektoru)/(norm(vektorv)*norm(vektoru));%vypocet uhlu dvou
vektoru
alfa=acos(cosalfa);% v radianech
alfa=alfa/pi*180 % ve stupnich
%uhel ohyb 2
vektorv2=boddolnivpravo-boddolniohyb;%vypocet vektoru
vektoru2=bodhorni-boddolniohyb;
```

```
cosbeta=dot(vektorv2,vektoru2)/(norm(vektorv2)*norm(vektoru2));% vypocet      uhlu
dvou vektoru
beta=acos(cosbeta);% v radianech
beta=beta/pi*180 % ve stupnnych
%prumer=uhelzotaveni
uhelzotaveni=(alfa+beta)/2
save ulozeni bodhorni bodvlevo bodvlevo2 boddolnivpravo boddolnivpravo2
boddolniohyb alfa beta uhelzotaveni;
```

3.Zpracování fotografie pro úhle a výpočet úhlu zotavení

```
function uhelzotaveni=vypocetuhelzotaveni2(a,prah,osax1,osay1,osax2,osay2,cislo)
```

% VYPOCET HRAN

```
%maska Sobelova
hsobx=[-1,0,1;-2,0,2;-1,0,1];%sobeluv operator pro hrany y
hsoby=[-1,-2,-1;0,0,0;1,2,1];%sobeluv operator pro hrany x
axsob=conv2(a,hsobx,'same');%vypocet x hran=konvoluce mezi a a hsobx
aysob=conv2(a,hsoby,'same');%vypocet y hran
figure (2)
subplot(1,2,1)
imagesc(axsob);colormap(gray);title('sobelova maska x')
subplot(1,2,2)
imagesc(aysob);colormap(gray);title('sobelova maska y')
```

%SLOZENI HRAN

```
gsob=max(abs(axsob), abs(aysob)); %slozeni x hran a y hran dohromady
figure (3)
imagesc(gsob);colormap(gray);title('slozeni hran')
```

%PRAHOVANI

```
%hodnota prahu je stejná jako u předchozí fotografie
pp=zeros(size(a));% vytvoríme nový obrázek, černý
pp(gsob>prah)=1;
figure (4)
imagesc(pp);colormap(gray);title('prahovane hrany')
% medianový filtr (pepr a sul)
ppas=medfilt2(pp,[5 5]);
```

```
figure, imagesc(ppas);colormap(gray);title('medianovy filtr');
%morfologicka operace
se = strel('line',40,0);%definujele primku
p= imclose(ppas,se);
figure, imagesc(p);colormap(gray);
%VYPOCET BODU
%hodnota vyrezu je stejná jako u předchozí fotografie
% Vetvení programu podle velikosti uhlu
disp('Zadej, zda je velikost uhlu zotavení větší než 90 stupňů');
vetsinez90=input('Je úhel zotavení větší než 90 stupňů? (a/n)','s');
%vyrez 1
vp1=p(osay1(1,1):osay1(1,2),osax1(1,1):osax1(1,2));          %matice[radky,sloupce]=
souradnice y, souradnice x
figure
imagesc(vp1);colormap(gray);title(' vyrez 1')
%horní bod, souradnice [x,y]
if vetsinez90=='a'
    bodhorni=najdiBodhorniVetsi90(vp1);% volame funkci
else
    bodhorni=najdiBodhorniMensi90(vp1);% volame funkci
end
bodhorni(1,1)=bodhorni(1,1)+osax1(1,1); % posun o velikost vyrezu
bodhorni(1,2)=bodhorni(1,2)+osay1(1,1);
%vlevo
if vetsinez90=='a'
    bodvlevo=najdiBodvlevoVetsi90(vp1);% volame funkci
else
    bodvlevo=najdiBodvlevoMensi90(vp1);% volame funkci
end
bodvlevo(1,1)=bodvlevo(1,1)+osax1(1,1); % posun o velikost vyrezu
bodvlevo(1,2)=bodvlevo(1,2)+osay1(1,1);
%vlevo2
bodvlevo2=najdiBodvlevo2(vp1);% volame funkci
bodvlevo2(1,1)=bodvlevo2(1,1)+osax1(1,1); % posun o velikost vyrezu
```

```
bodvlevo2(1,2)=bodvlevo2(1,2)+osay1(1,1);
%vyrez 2
vp2=p(osay2(1,1):osay2(1,2),osax2(1,1):osax2(1,2)); % nutne zadat oblast, nejdriv y
pak x
figure
imagesc(vp2);colormap(gray);title(' vyrez 2');
%bod rovno dolni
boddolnivpravo=najdiboddolnivpravo(vp2);
boddolnivpravo2=najdiboddolnivpravo2(vp2,boddolnivpravo);
boddolnivpravo(1,1)=boddolnivpravo(1,1)+osax2(1,1); % posun o velikost vyrezu
boddolnivpravo(1,2)=boddolnivpravo(1,2)+osay2(1,1);
boddolnivpravo2(1,1)=boddolnivpravo2(1,1)+osax2(1,1); % posun o velikost vyrezu
boddolnivpravo2(1,2)=boddolnivpravo2(1,2)+osay2(1,1);
%bod ohyb dolni
%vypocitame jako prusecik dvou primek
%primka 1=bodvlevo,bodvlevo2
%primka 2=boddolnivpravo,boddolnivpravo2
%definujeme vektory
Dx12 = bodvlevo(1,1)-bodvlevo2(1,1);
Dx34 = boddolnivpravo(1,1)-boddolnivpravo2(1,1);
Dy12 = bodvlevo(1,2)-bodvlevo2(1,2);
Dy34 = boddolnivpravo(1,2)-boddolnivpravo2(1,2);
Dx24 = bodvlevo2(1,1)-boddolnivpravo2(1,1);
Dy24 = bodvlevo2(1,2)-boddolnivpravo2(1,2);
%vypocet pro t a s parametry
ts = [Dx12 -Dx34; Dy12 -Dy34] \ [-Dx24; -Dy24];
% Take weighted combinations of points on the line
prusecik = ts(1)*[bodvlevo(1,1); bodvlevo(1,2)] + (1-ts(1))*[bodvlevo2(1,1);
bodvlevo2(1,2)];
%???Q = ts(2)*[boddolnivpravo(1,1); boddolnivpravo(1,2)] + (1-
ts(2))*[boddolnivpravo2(1,1);boddolnivpravo2(1,2)];
boddolniohyb=round(prusecik);
```


%VYPOCET UHLU

%uhel ohyb 1

vektorv=boddolnivpravo-boddolniohyb;% vypocet vektoru

vektoru=bodvlevo-boddolniohyb;

cosalfa=dot(vektorv,vektoru)/(norm(vektorv)*norm(vektoru));% vypocet uhlu dvou vektoru

alfa=acos(cosalfa);% v radianech

alfa=alfa/pi*180 % ve stupních

%uhel ohyb 2

vektorv2=boddolnivpravo-boddolniohyb;% vypocet vektoru

vektoru2=bodhorni-boddolniohyb;

cosbeta=dot(vektorv2,vektoru2)/(norm(vektorv2)*norm(vektoru2));% vypocet uhlu dvou vektoru

beta=acos(cosbeta);% v radianech

beta=beta/pi*180 % ve stupních

%prumer=uhelzotaveni

uhelzotaveni=(alfa+beta)/2

ulozeni=['fotodata',num2str(cislo)];

save ulozeni bodhorni bodvlevo bodvlevo2 boddolnivpravo boddolnivpravo2
boddolniohyb alfa beta uhelzotaveni;

Funkce vstupující do programu během výpočtu

Morflogie

close all;

clear all;

originalBW = imread('circles.png');

figure, imshow(originalBW);

se = strel('disk',10);

closeBW = imclose(originalBW,se);

figure, imshow(closeBW);

openBW = imopen(originalBW,se);

figure, imshow(openBW);

dilateBW = imdilate(originalBW,se);

```
figure, imshow(dilateBW);  
opencloseBW = imclose(openBW,se);  
figure, imshow(opencloseBW)
```

Funkce pro hledání bodu dolní přímký

```
function bod=najdibodrovnodolni(vp22);  
[r,s]=size(vp22); %radky= y sloupce= x  
for radky=r:-1:1 %hledame v poslednim sloupci od posledniho radku  
    if vp22(radky,s)==1  
        bod=[s,radky];  
        return  
    end  
end
```

Funkce pro hledání druhého bodu dolní přímký

```
function bod=najdibodrovnodolni2(vp2,bodrovnodolni);  
[r,s]=size(vp2); %radky= y sloupce= x  
sloupce=bodrovnodolni(1,1)-10;  
for radky=r:-1:1 %hledame v sloupce od posledniho radku  
    if vp2(radky,sloupce)==1  
        bod=[sloupce,radky];  
        return  
    end  
end
```

Funkce pro hledání bodu v dolním ohybu

```
function bod=najdiboddolniohyb(vp22,hlsloupec);  
[r,s]=size(vp22); %radky= y sloupce= x  
for radky=r:-1:1 %hledame v poslednim sloupci od posledniho radku  
    if vp22(radky,hlsloupec)==1  
        bod=[hlsloupec,radky];  
        return  
    end  
end
```

Funkce pro hledání bodu horním vrcholu pro úhle < 90°

```
function bod=najdibodhorni(vp2);  
%postupne prochazi obrazek po sloupcich od zadu a hleda prvni bily pixel  
[r,s]=size(vp2); %radky= y sloupce= x  
%horni pro hledani bodu v obrazku s uhlem zotaveni mensim nez 90 stupnu  
for sloupce=s:-1:1  
    for radky=1:1:r  
        if vp2(radky,sloupce)==1  
            bod=[sloupce,radky];  
            return  
        end  
    end  
end
```

Funkce pro hledání bodu horním vrcholu pro úhle > 90°

```
function bod=najdibodhorni(vp2);  
%postupne prochazi obrazek po radcich a hleda prvni bily pixel  
[r,s]=size(vp2); %radky= y sloupce= x  
%horni  
for radky=1:1:r  
    for sloupce=1:1:s  
        if vp2(radky,sloupce)==1  
            bod=[sloupce,radky];  
            return  
        end  
    end  
end
```

Funkce pro hledání bodu levého vrcholu pro úhle < 90°

```
function bod=najdibodvlevo(vp2);  
%postupne prochazi obrazek po rádcích a hleda prvni bily pixel  
[r,s]=size(vp2); %radky= y sloupce= x  
for radky=1:1:r  
    for sloupce=1:1:s  
        if vp2(radky,sloupce)==1
```

```
        bod=[sloupce,radky];  
        return  
    end  
end  
end
```

Funkce pro hledání bodu levého vrcholu pro úhle > 90°

```
function bod=najdibodvlevo(vp2);  
%postupne prochazi obrazek po sloupcich a hleda prvni bily pixel  
[r,s]=size(vp2); %radky= y sloupce= x  
for sloupce=1:1:s  
    for radky=1:1:r  
        if vp2(radky,sloupce)==1  
            bod=[sloupce,radky];  
            return  
        end  
    end  
end  
end
```

Funkce pro hledání bodu levého vrcholu – pomocný bod pro vykreslení přímky

```
function bod=najdibodvlevo2(vp1);  
%postupne prochazi obrazek po sloupcich od posledního radku a hleda prvni bily pixel  
[r,s]=size(vp1); %radky= y sloupce= x  
for radky=r:-1:1  
    for sloupce=1:1:s  
        if vp1(radky,sloupce)==1  
            bod=[sloupce,radky];  
            return %pri nalezeni bileho pixelu prerusi prohledavani  
        end  
    end  
end  
end
```

Průběh měření a výpočtu úhlu zotavení v programu Matlab

Vzorek č.1

```
>> Zadej adresar se zpracovavanyimi fotografiemi
adresar=C:\Documents and
Settings\Sylva\Plocha\matlab\uhel_zotaveni\vzorek_c1_modra\modra\
Zadej nazev fotografie bez koncového čísla a přípony .jpg
nazev fotografie=m
Zadej dobu snímání úhlu v sekundách
doba snímání=5
Zadej hodnotu prahu z obrázku 3 v rozsahu 0 až 1000
prah=65
Zkontrolujte výsledek prahování v obrázku 6. Chcete zadat hodnotu prahu znovu?
ano=a ne=n
znovu zadat hodnotu prahu=n
Zadej oblasti z obrázku 4 pro určení výřezu 1 pro horní a levý bod
osa x minimum=800
OSA X MAXIMUM=1300
osa y minimum=400
osa y maximum=800
Zadej oblasti z obrázku 4 pro určení výřezu 2 pro dolní ohyb a koncové body
osa x minimum=1300
osa x maximum=1400
osa y minimum=750
osa y maximum=850
Zadej, zda je velikost úhlu zotavení větší než 90 stupňů
Je úhel zotavení větší než 90 stupňů? (a/n)n
alfa =
    51.868
beta =
    57.838
uhelzotaveni =
    54.853

Chcete zpracovat další fotografii? ano=a ne=n
```

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snimani uhlu v sekundach

doba snimani=10

Zadej, zda je velikost uhlu zotaveni vetsi nez 90 stupnu

Je uhel zotaveni vetsi nez 90 stupnu? (a/n)n

alfa =

52.048

beta =

58.023

uhelzotaveni =

55.036

Chcete zpracovat dalsi fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snimani uhlu v sekundach

doba snimani=20

Zadej, zda je velikost uhlu zotaveni vetsi nez 90 stupnu

Je uhel zotaveni vetsi nez 90 stupnu? (a/n)n

alfa =

52.608

beta =

58.18

uhelzotaveni =

55.394

Chcete zpracovat dalsi fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snimani uhlu v sekundach

doba snimani=30

Zadej, zda je velikost uhlu zotaveni vetsi nez 90 stupnu

Je uhel zotaveni vetsi nez 90 stupnu? (a/n)n

alfa =

52.608

beta =

58.251

uhelzotaveni =

55.43

Chcete zpracovat další fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snímání uhlu v sekundách

doba snímání=40

Zadej, zda je velikost uhlu zotavení větší než 90 stupňů

Je uhel zotavení větší než 90 stupňů? (a/n)n

alfa =

52.547

beta =

58.438

uhelzotaveni =

55.493

Chcete zpracovat další fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snímání uhlu v sekundách

doba snímání=50

Zadej, zda je velikost uhlu zotavení větší než 90 stupňů

Je uhel zotavení větší než 90 stupňů? (a/n)n

alfa =

53.101

beta =

58.009

uhelzotaveni =

55.555

Chcete zpracovat další fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snímání uhlu v sekundách

doba snímání=60

Zadej, zda je velikost uhlu zotavení větší než 90 stupňů

Je uhel zotavení větší než 90 stupňů? (a/n)n

alfa =

52.839

beta =

58.507

uhelzotaveni =

55.673

Chcete zpracovat dalsi fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snimani uhlu v sekundach

doba snimani=300

Zadej, zda je velikost uhlu zotaveni vetsi nez 90 stupnu

Je uhel zotaveni vetsi nez 90 stupnu? (a/n)n

alfa =

53.842

beta =

60.238

uhelzotaveni =

57.04

Chcete zpracovat dalsi fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snimani uhlu v sekundach

doba snimani=600

Zadej, zda je velikost uhlu zotaveni vetsi nez 90 stupnu

Je uhel zotaveni vetsi nez 90 stupnu? (a/n)n

alfa =

54.136

beta =

60.906

uhelzotaveni =

57.521

Chcete zpracovat dalsi fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snimani uhlu v sekundach

doba snimani=1200

Zadej, zda je velikost uhlu zotaveni vetsi nez 90 stupnu

Je uhel zotaveni vetsi nez 90 stupnu? (a/n)n

alfa =

54.704

beta =

61.454

uhelzotaveni =

58.079

Chcete zpracovat dalsi fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snimani uhlu v sekundach

doba snimani=1800

Zadej, zda je velikost uhlu zotaveni vetsi nez 90 stupnu

Je uhel zotaveni vetsi nez 90 stupnu? (a/n)n

alfa =

55.981

beta =

62.658

uhelzotaveni =

59.319

Chcete zpracovat dalsi fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snimani uhlu v sekundach

doba snimani=2400

Zadej, zda je velikost uhlu zotaveni vetsi nez 90 stupnu

Je uhel zotaveni vetsi nez 90 stupnu? (a/n)n

alfa =

56.64

beta =

63.015

uhelzotaveni =

59.828

Chcete zpracovat dalsi fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snimani uhlu v sekundach

doba snimani=3000

Zadej, zda je velikost uhlu zotaveni vetsi nez 90 stupnu

Je uhel zotaveni vetsi nez 90 stupnu? (a/n)n

alfa =

56.104

beta =

63.314

uhelzotaveni =

59.709

Chcete zpracovat dalsi fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snimani uhlu v sekundach

doba snimani=3600

Zadej, zda je velikost uhlu zotaveni vetsi nez 90 stupnu

Je uhel zotaveni vetsi nez 90 stupnu? (a/n)n

alfa =

56.682

beta =

63.435

uhelzotaveni =

60.059

Chcete zpracovat dalsi fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=n

Hodnoty casu mereni a uhlu zotaveni

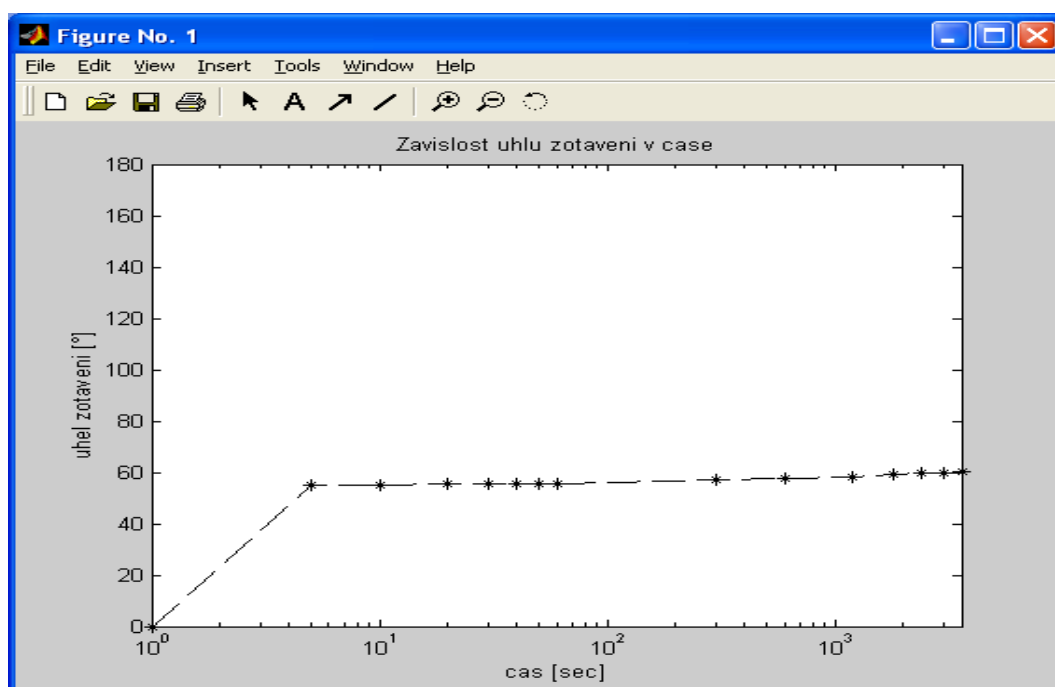
hodnoty =

Columns 1 through 7

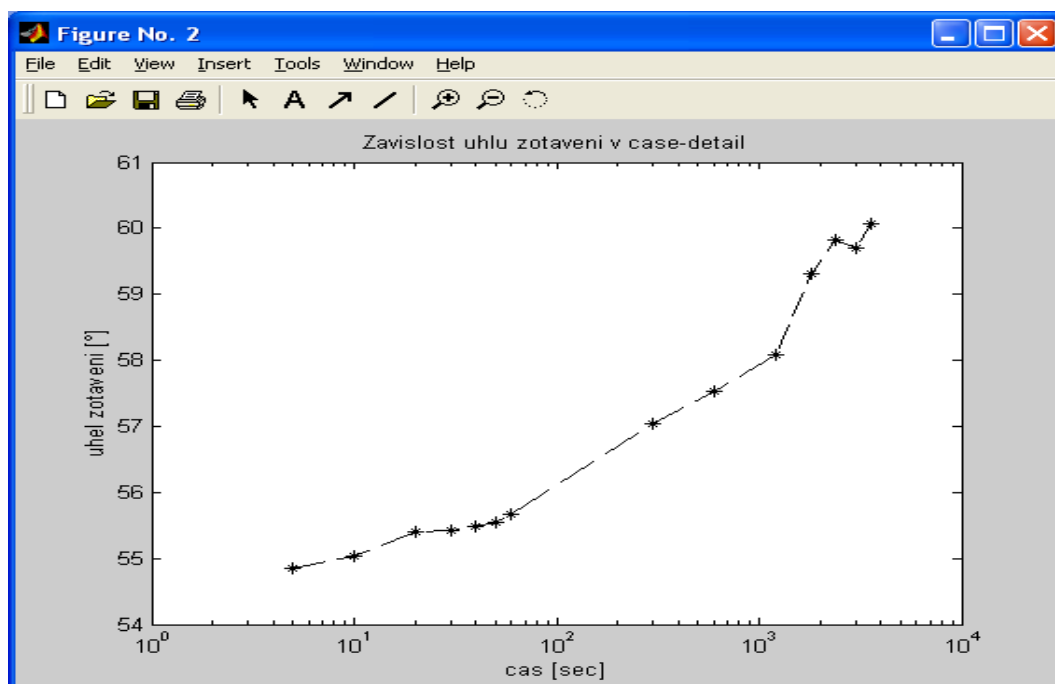
5	10	20	30	40	50	60
54.853	55.036	55.394	55.43	55.493	55.555	55.673

Columns 8 through 14

300	600	1200	1800	2400	3000	3600
57.04	57.521	58.079	59.319	59.828	59.709	60.059



Graf 1: Graf úhlu zotavení



Graf 2: Detailní graf úhlu zotavení

Průběh měření a výpočtu úhlu zotavení v programu Matlab

Vzorek č.2

>> Zadej adresar se zpracovavanyimi fotografiemi

adresar=C:\Documents and

Settings\Sylva\Plocha\matlab\uhel_zotaveni\vzorek_c2_modra\modra\modra\

Zadej nazev fotografie bez koncového čísla a přípony .jpg

nazev fotografie=mo

Zadej dobu snímání úhlu v sekundách

doba snímání=5

Zadej hodnotu prahu z obrazku 3 v rozsahu 0 až 1000

prah=65

Zkontrolujte výsledek prahování v obrazku 6. Chcete zadat hodnotu prahu znovu?

ano=a ne=n

znovu zadat hodnotu prahu=n

Zadej oblasti z obrazku 4 pro určení výřezu 1 pro horní a levý bod

osa x minimum=800

osa x maximum=1300

osa y minimum=400

osa y maximum=800

Zadej oblasti z obrazku 4 pro určení výřezu 2 pro dolní ohyb a koncové body

osa x minimum=1000

osa x maximum=1100

osa y minimum=750

osa y maximum=850

Zadej, zda je velikost úhlu zotavení větší než 90 stupňů

Je úhel zotavení větší než 90 stupňů? (a/n)n

alfa =

31.109

beta =

56.31

uhelzotaveni =

43.709

Chcete zpracovat další fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snimani uhlu v sekundach

doba snimani=10

Zadej, zda je velikost uhlu zotaveni vetsi nez 90 stupnu

Je uhel zotaveni vetsi nez 90 stupnu? (a/n)n

alfa =

30.612

BETA =

56.817

uhelzotaveni =

43.714

Chcete zpracovat dalsi fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snimani uhlu v sekundach

doba snimani=20

Zadej, zda je velikost uhlu zotaveni vetsi nez 90 stupnu

Je uhel zotaveni vetsi nez 90 stupnu? (a/n)n

alfa =

30.716

beta =

56.686

uhelzotaveni =

43.701

Chcete zpracovat dalsi fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snimani uhlu v sekundach

doba snimani=30

Zadej, zda je velikost uhlu zotaveni vetsi nez 90 stupnu

Je uhel zotaveni vetsi nez 90 stupnu? (a/n)n

alfa =

31.647

beta =

56.982

uhelzotaveni =

44.315

Chcete zpracovat další fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snímání uhlu v sekundách

doba snímání=40

Zadej, zda je velikost uhlu zotavení větší než 90 stupňů

Je uhel zotavení větší než 90 stupňů? (a/n)n

alfa =

31.877

beta =

57.283

uhelzotavení =

44.58

Chcete zpracovat další fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snímání uhlu v sekundách

doba snímání=50

Zadej, zda je velikost uhlu zotavení větší než 90 stupňů

Je uhel zotavení větší než 90 stupňů? (a/n)n

alfa =

31.877

beta =

57.065

uhelzotavení =

44.471

Chcete zpracovat další fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snímání uhlu v sekundách

doba snímání=60

Zadej, zda je velikost uhlu zotavení větší než 90 stupňů

Je uhel zotavení větší než 90 stupňů? (a/n)n

alfa =

32.351

beta =

57.065

uhelzotaveni =

44.708

Chcete zpracovat dalsi fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snimani uhlu v sekundach

doba snimani=300

Zadej, zda je velikost uhlu zotaveni vetsi nez 90 stupnu

Je uhel zotaveni vetsi nez 90 stupnu? (a/n)n

alfa =

34.428

beta =

57.899

uhelzotaveni =

46.163

Chcete zpracovat dalsi fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snimani uhlu v sekundach

doba snimani=600

Zadej, zda je velikost uhlu zotaveni vetsi nez 90 stupnu

Je uhel zotaveni vetsi nez 90 stupnu? (a/n)n

alfa =

35.947

beta =

58.958

uhelzotaveni =

47.453

Chcete zpracovat dalsi fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snimani uhlu v sekundach

doba snimani=1200

Zadej, zda je velikost uhlu zotaveni vetsi nez 90 stupnu

Je uhel zotaveni vetsi nez 90 stupnu? (a/n)n

alfa =

36.846

beta =

58.856

uhelzotaveni =

47.851

Chcete zpracovat dalsi fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snimani uhlu v sekundach

doba snimani=1800

Zadej, zda je velikost uhlu zotaveni vetsi nez 90 stupnu

Je uhel zotaveni vetsi nez 90 stupnu? (a/n)n

alfa =

37.642

beta =

60.199

uhelzotaveni =

48.921

Chcete zpracovat dalsi fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snimani uhlu v sekundach

doba snimani=2400

Zadej, zda je velikost uhlu zotaveni vetsi nez 90 stupnu

Je uhel zotaveni vetsi nez 90 stupnu? (a/n)n

alfa =

38.035

beta =

60.916

uhelzotaveni =

49.475

Chcete zpracovat dalsi fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snimani uhlu v sekundach

doba snimani=3000

Zadej, zda je velikost uhlu zotaveni vetsi nez 90 stupnu

Je uhel zotaveni vetsi nez 90 stupnu? (a/n)n

alfa =

38.109

beta =

60.931

uhelzotaveni =

49.52

Chcete zpracovat dalsi fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snimani uhlu v sekundach

doba snimani=3600

Zadej, zda je velikost uhlu zotaveni vetsi nez 90 stupnu

Je uhel zotaveni vetsi nez 90 stupnu? (a/n)n

alfa =

38.735

beta =

61.136

uhelzotaveni =

49.936

Chcete zpracovat dalsi fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=n

Hodnoty casu mereni a uhlu zotaveni

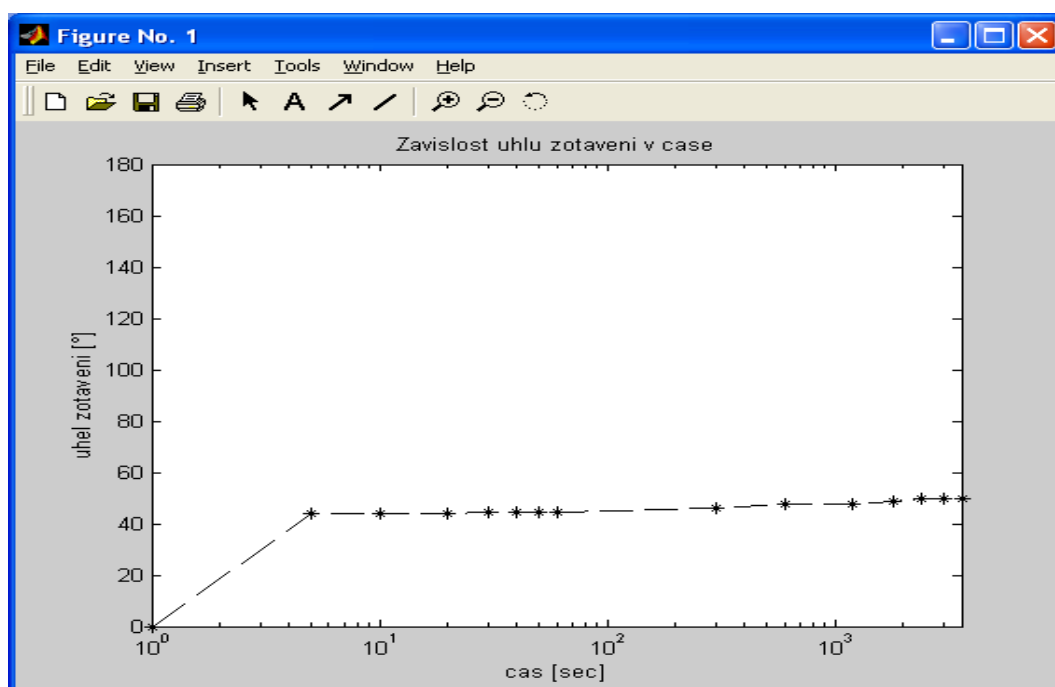
hodnoty =

Columns 1 through 7

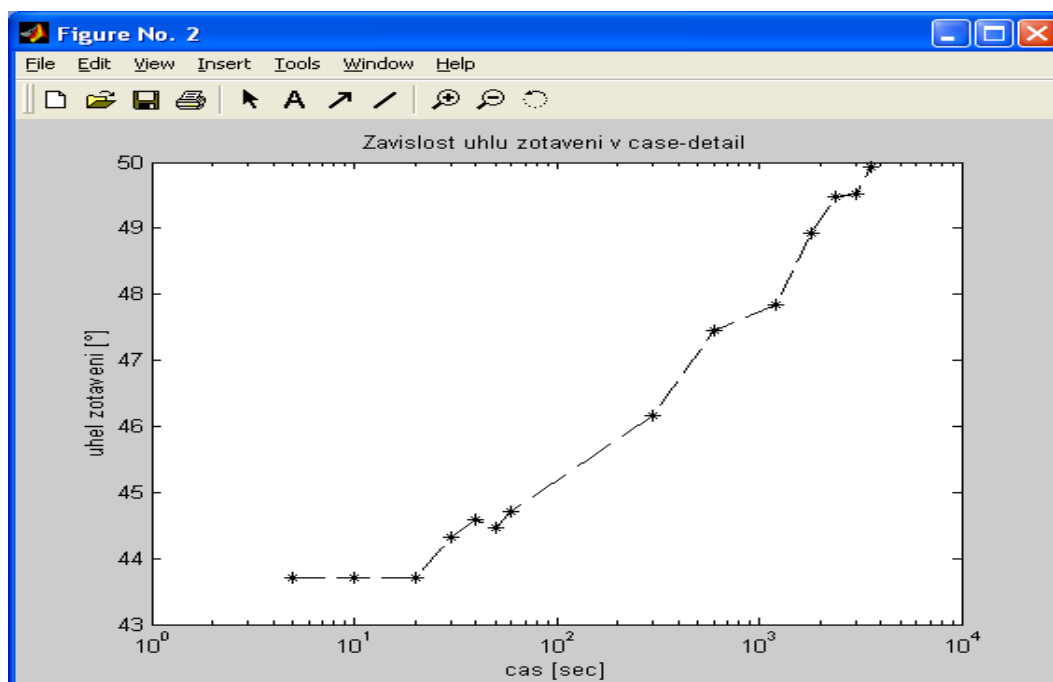
5	10	20	30	40	50	60
43.709	43.714	43.701	44.315	44.58	44.471	44.708

Columns 8 through 14

300	600	1200	1800	2400	3000	3600
46.163	47.453	47.851	48.921	49.475	49.52	49.936



Graf 3: Graf úhlu zotavení



Graf 4: Deailní graf úhlu zotavení

Průběh měření a výpočtu úhlu zotavení v programu Matlab

Vzorek č.3

> Zadej adresar se zpracovavanyymi fotografiemi

adresar=C:\Documents and Settings\Sylva\Plocha\matlab\uhel_zotaveni\vzorek
_c3_cerna\cerna\

Zadej nazev fotografie bez koncoveho cisla a pripony .jpg

nazev fotografie=ce

Zadej dobu snimani uhlu v sekundach

doba snimani=5

Zadej hodnotu prahu z obrazku 3 v rozsahu 0 az 1000

prah=65

Zkontrolujte vysledek prahovani v obrazku 6. Chcete zadat hodnotu prahu znovu?

ano=a ne=n

znovu zadat hodnotu prahu=n

Zadej oblasti z obrazku 4 pro urceni vyrezu 1 pro horni a levy bod

osa x minimum=800

osa x maximum=1300

osa y minimum=400

osa y maximum=800

Zadej oblasti z obrazku 4 pro urceni vyrezu 2 pro dolni ohyb a koncove body

osa x minimum=1000

osa x maximum=1100

osa y minimum=750

osa y maximum=850

Zadej, zda je velikost uhlu zotaveni vetsi nez 90 stupnu

Je uhel zotaveni vetsi nez 90 stupnu? (a/n)n

alfa =

32.115

beta =

43.27

uhelzotaveni =

37.693

Chcete zpracovat dalsi fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snimani uhlu v sekundach

doba snimani=10

Zadej, zda je velikost uhlu zotaveni vetsi nez 90 stupnu

Je uhel zotaveni vetsi nez 90 stupnu? (a/n)n

alfa =

32.184

beta =

43.573

uhelzotaveni =

37.878

Chcete zpracovat dalsi fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snimani uhlu v sekundach

doba snimani=20

Zadej, zda je velikost uhlu zotaveni vetsi nez 90 stupnu

Je uhel zotaveni vetsi nez 90 stupnu? (a/n)n

alfa =

32.102

beta =

43.865

uhelzotaveni =

37.983

Chcete zpracovat dalsi fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snimani uhlu v sekundach

doba snimani=30

Zadej, zda je velikost uhlu zotaveni vetsi nez 90 stupnu

Je uhel zotaveni vetsi nez 90 stupnu? (a/n)n

alfa =

32.712

beta =

43.658

uhelzotaveni =

38.185

Chcete zpracovat další fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snímání úhlu v sekundách

doba snímání=40

Zadej, zda je velikost úhlu zotavení větší než 90 stupňů

Je úhel zotavení větší než 90 stupňů? (a/n)n

alfa =

32.72

beta =

44.187

úhel zotavení =

38.454

Chcete zpracovat další fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snímání úhlu v sekundách

doba snímání=50

Zadej, zda je velikost úhlu zotavení větší než 90 stupňů

Je úhel zotavení větší než 90 stupňů? (a/n)n

alfa =

33.44

beta =

43.588

úhel zotavení =

38.514

Chcete zpracovat další fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snímání úhlu v sekundách

doba snímání=60

Zadej, zda je velikost úhlu zotavení větší než 90 stupňů

Je úhel zotavení větší než 90 stupňů? (a/n)n

ALFA =

37.418

beta =

44.223

uhelzotaveni =

40.82

Chcete zpracovat dalsi fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snimani uhlu v sekundach

doba snimani=300

Zadej, zda je velikost uhlu zotaveni vetsi nez 90 stupnu

Je uhel zotaveni vetsi nez 90 stupnu? (a/n)n

alfa =

37.156

beta =

44.806

uhelzotaveni =

40.981

Chcete zpracovat dalsi fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snimani uhlu v sekundach

doba snimani=600

Zadej, zda je velikost uhlu zotaveni vetsi nez 90 stupnu

Je uhel zotaveni vetsi nez 90 stupnu? (a/n)n

alfa =

37.727

beta =

44.433

uhelzotaveni =

41.08

Chcete zpracovat dalsi fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snimani uhlu v sekundach

doba snimani=1200

Zadej, zda je velikost uhlu zotaveni vetsi nez 90 stupnu

Je uhel zotaveni vetsi nez 90 stupnu? (a/n)n

alfa =

37.76

beta =

44.536

uhelzotaveni =

41.148

Chcete zpracovat dalsi fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snimani uhlu v sekundach

doba snimani=1800

Zadej, zda je velikost uhlu zotaveni vetsi nez 90 stupnu

Je uhel zotaveni vetsi nez 90 stupnu? (a/n)n

alfa =

38.002

beta =

44.444

uhelzotaveni =

41.223

Chcete zpracovat dalsi fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snimani uhlu v sekundach

doba snimani=2400

Zadej, zda je velikost uhlu zotaveni vetsi nez 90 stupnu

Je uhel zotaveni vetsi nez 90 stupnu? (a/n)n

alfa =

38.268

beta =

44.721

uhelzotaveni =

41.494

Chcete zpracovat dalsi fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snimani uhlu v sekundach

doba snimani=3000

Zadej, zda je velikost uhlu zotaveni vetsi nez 90 stupnu

Je uhel zotavení větší než 90 stupňů? (a/n)n

alfa =

38.742

beta =

44.907

uhelzotavení =

41.824

Chcete zpracovat další fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=a

Zadej dobu snímání úhlu v sekundách

doba snímání=3600

Zadej, zda je velikost úhlu zotavení větší než 90 stupňů

Je uhel zotavení větší než 90 stupňů? (a/n)n

alfa =

39.094

beta =

45

uhelzotavení =

42.047

Chcete zpracovat další fotografii? ano=a ne=n

dalsi fotografie=n

Hodnoty času měření a úhlu zotavení

hodnoty =

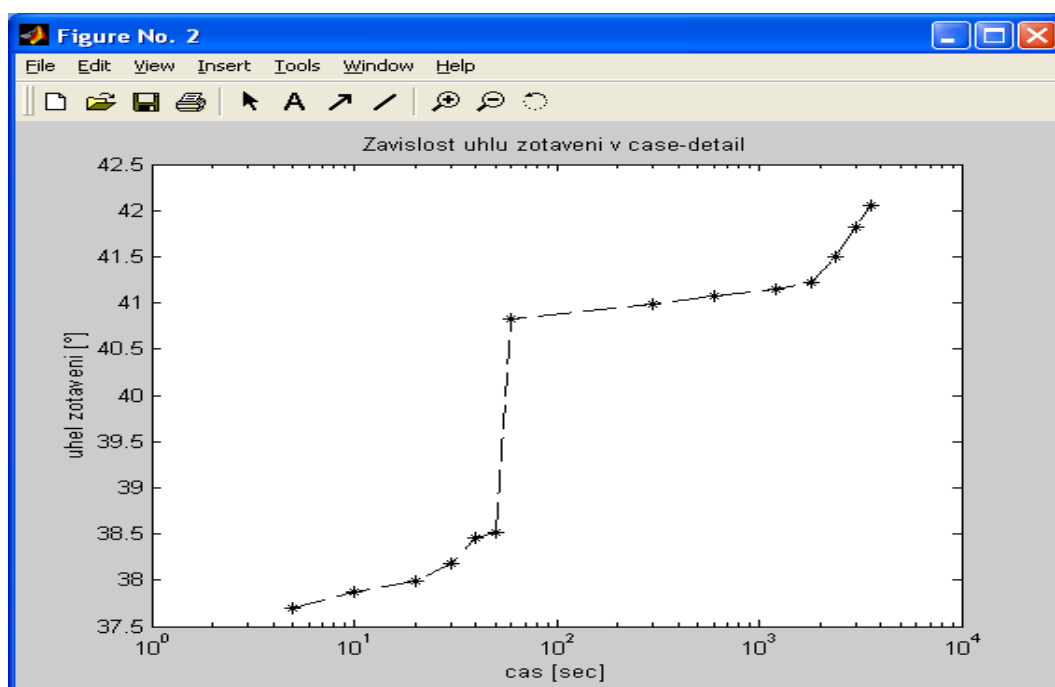
Columns 1 through 8

5	10	20	30	40	50	60	300
37.693	37.878	37.983	38.185	38.454	38.514	40.82	

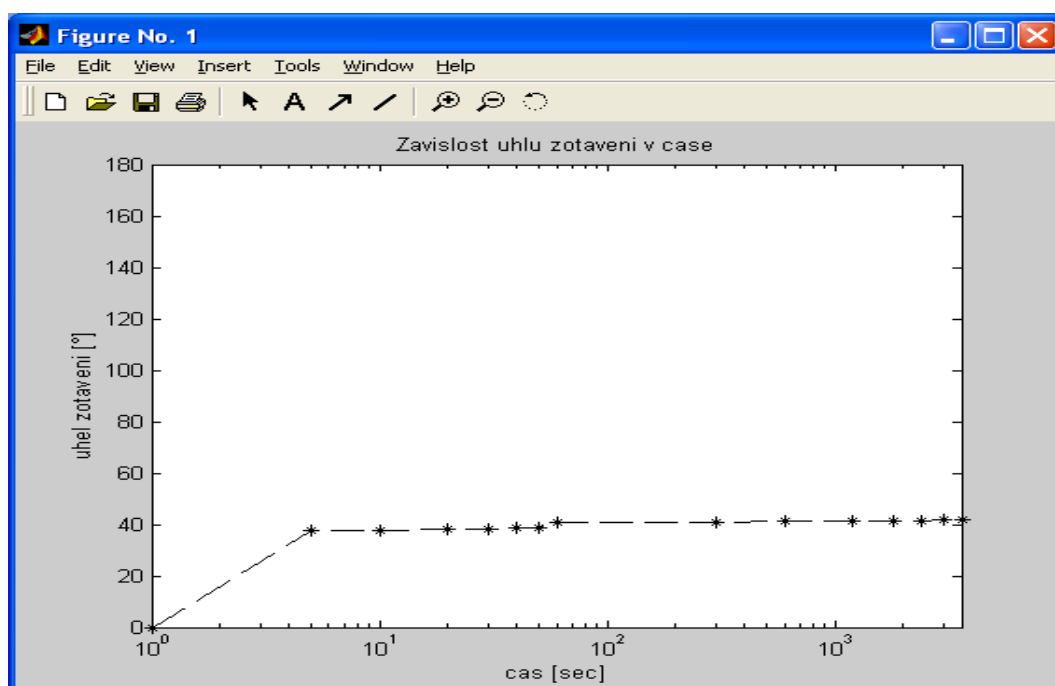
40.981

Columns 9 through 14

600	1200	1800	2400	3000	3600
41.08	41.148	41.223	41.494	41.824	42.047



Graf 5: Graf úhlu zotavení



Graf 6: Detailní graf úhlu zotavení

Výsledné hodnoty měření v programu NIS - Elements

Vzorek č.1

Item	Angle [deg]	class		
1.	51,95	1		
2.	57,80	1		
3.	52,01	1		
4.	57,98	1		
5.	52,55	1		
6.	58,21	1		
7.	52,51	1		
8.	58,29	1		
9.	52,51	1		
10.	58,46	1		
11.	52,94	1		
12.	58,15	1		
13.	52,76	1		
14.	58,46	1		
15.	53,92	1		
16.	60,14	1		
17.	54,21	1		
18.	60,85	1		
19.	54,82	1		
20.	61,38	1		
21.	55,93	1		
22.	62,66	1		
23.	56,58	1		
24.	63,00	1		
25.	56,13	1		
26.	63,26	1		
27.	56,70	1		
28.	63,38	1		
Feature	Mean	St.Dev	Minimum	Maximum
Angle [deg]	57,06	3,64	51,95	63,38

Výsledné hodnoty měření v programu NIS - Elements

Vzorek č.2

Item	Angle [deg]	class
1.	30,82	1
2.	56,35	1
3.	30,63	1
4.	56,81	1
5.	30,86	1
6.	56,70	1
7.	31,73	1
8.	56,98	1
9.	32,00	1
10.	57,41	1
11.	31,93	1
12.	57,05	1
13.	32,25	1
14.	57,17	1
15.	34,37	1
16.	57,80	1
17.	35,89	1
18.	59,07	1
19.	36,82	1
20.	58,92	1
21.	37,63	1
22.	60,19	1
23.	38,12	1
24.	60,82	1
25.	38,19	1
26.	60,81	1
27.	38,74	1
28.	61,12	1

Feature	Mean	St.Dev	Minimum	Maximum
Angle [deg]	46,32	12,29	30,63	61,12

Výsledné hodnoty měření v programu NIS - Elements

Vzorek č.3

Item	Angle [deg]	class
1.	32,11	1
2.	43,43	1
3.	32,18	1
4.	43,62	1
5.	32,10	1
6.	43,91	1
7.	32,58	1
8.	43,70	1
9.	32,62	1
10.	44,18	1
11.	33,59	1
12.	43,64	1
13.	37,36	1
14.	44,41	1
15.	37,17	1
16.	44,83	1
17.	37,62	1
18.	44,58	1
19.	37,83	1
20.	44,57	1
21.	37,97	1
22.	44,41	1
23.	38,30	1
24.	44,74	1
25.	38,76	1
26.	44,92	1
27.	39,11	1
28.	45,00	1

Feature	Mean	St.Dev	Minimum	Maximum
Angle [deg]	40,01	4,78	32,10	45,00

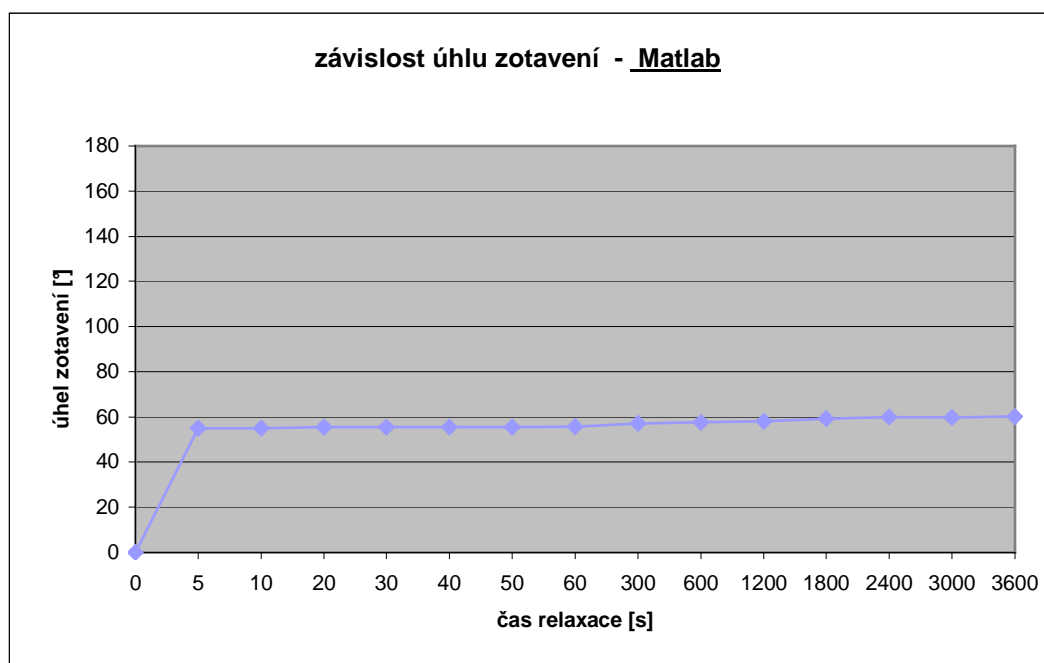
Grafické zpracování měřených úhlů zotavení

Měření úhlu zotavení – vzorek č. 1

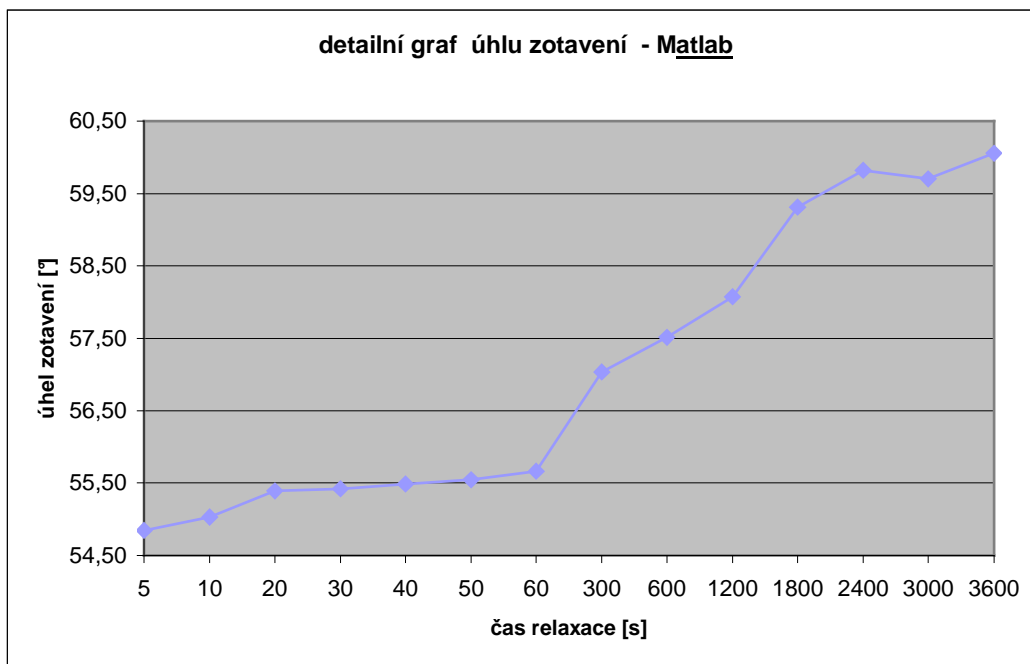
Úhel zotavení měřený pomocí metody typu Matlab

Tabulka 1: Výsledné hodnoty úhlu zotavení - Matlab

čas relaxace[s]	alfa[°]	beta[°]	úhel zotavení[°]
0	0	0	0
5	51,868	57,838	54,85
10	52,048	58,023	55,04
20	52,608	58,18	55,39
30	52,608	58,251	55,43
40	52,547	58,438	55,49
50	53,101	58,009	55,55
60	52,839	58,507	55,67
300	53,842	60,238	57,04
600	54,136	60,906	57,52
1200	54,704	61,454	58,08
1800	55,981	62,658	59,32
2400	56,64	63,015	59,83
3000	56,104	63,314	59,71
3600	56,682	63,435	60,06



Graf 7: Graf úhlu zotavení – Matlab

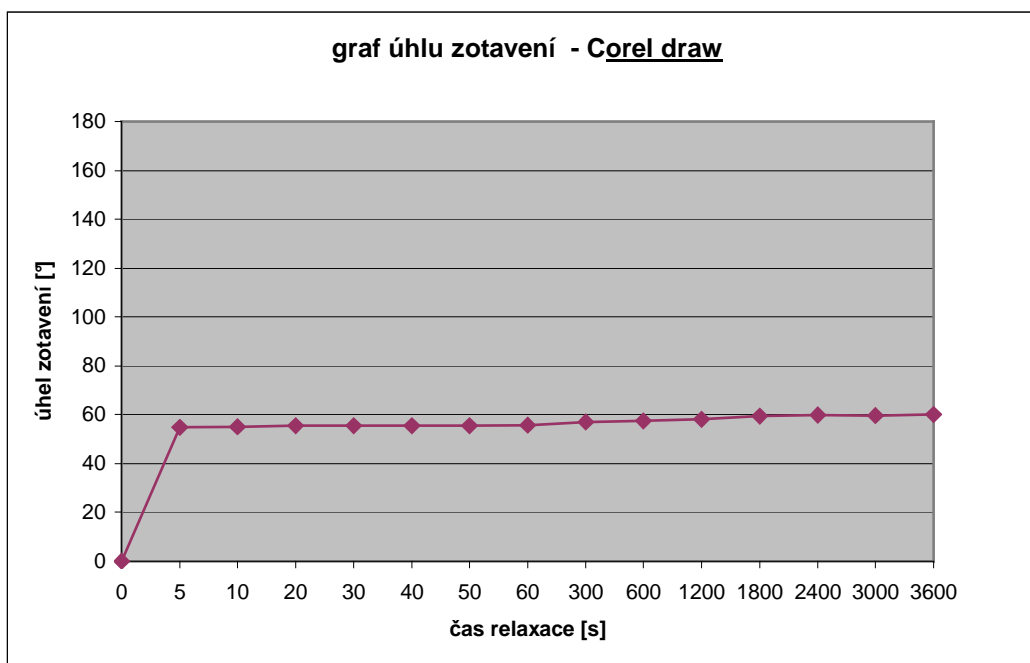


Graf 8: Detailní pohled - graf úhlu zotavení – Matlab

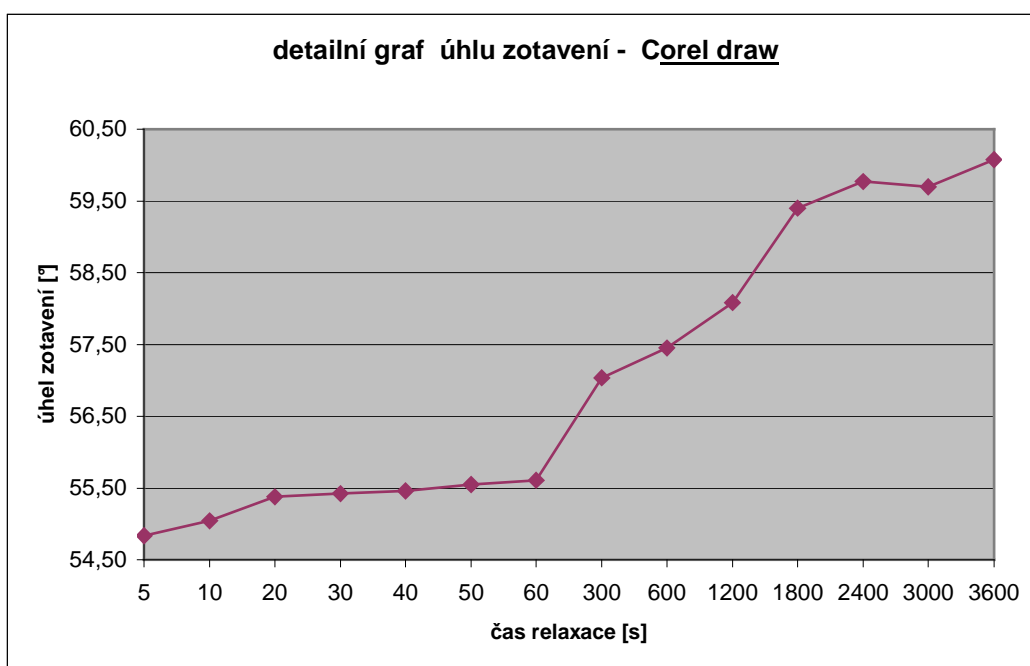
Úhel zotavení měřený pomocí metody typu Corel draw

Tabulka 2: Výsledné hodnoty úhlu zotavení – Corel draw

čas relaxace[s]	alfa[°]	beta[°]	úhel zotavení[°]
0	0	0	0
5	51,90	57,77	54,84
10	52,06	58,02	55,04
20	52,56	58,20	55,38
30	52,55	58,29	55,42
40	52,52	58,40	55,46
50	53,00	58,10	55,55
60	52,75	58,46	55,61
300	53,90	60,17	57,04
600	54,20	60,70	57,45
1200	54,75	61,41	58,08
1800	56,10	62,70	59,40
2400	56,57	62,98	59,78
3000	56,15	63,25	59,70
3600	56,70	63,45	60,08



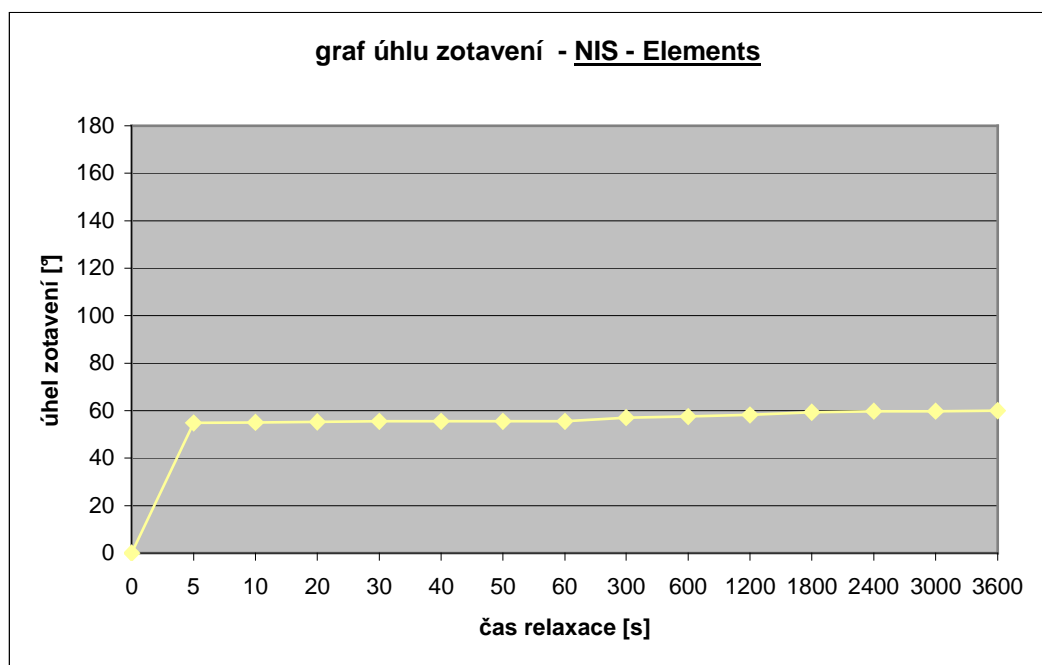
Graf 9: Graf úhlu zotavení – Corel draw

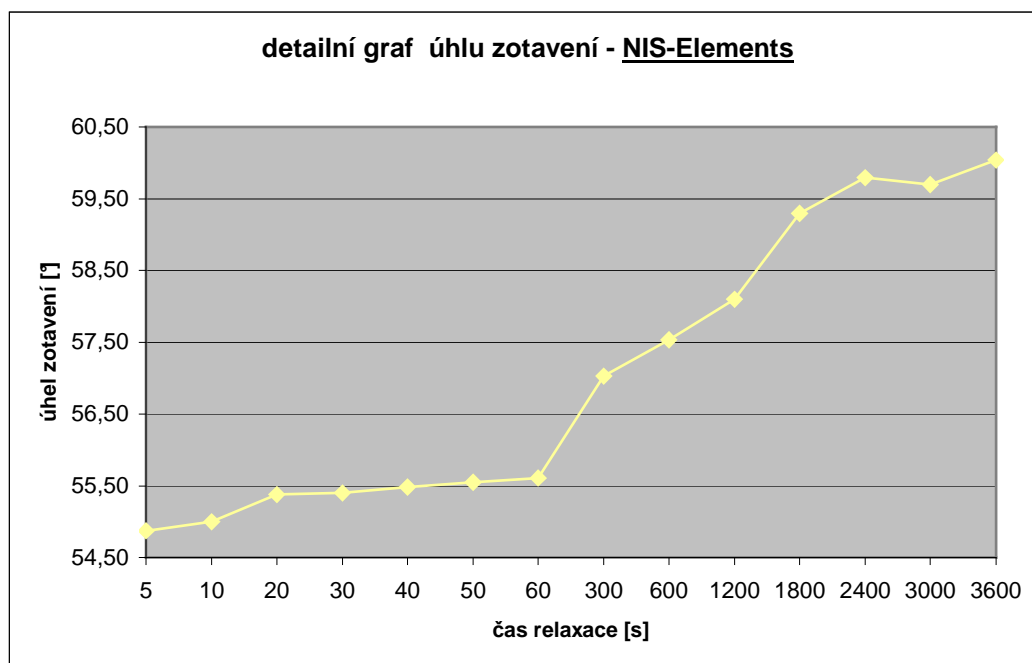


Graf 10: Detailní pohled – graf úhlu zotavení – Corel draw

Úhel zotavení měřený pomocí metody typu NIS – Elements*Tabulka 3: Výsledné hodnoty úhlu zotavení - NIS – elements*

čas relaxace[s]	alfa[°]	beta[°]	úhel zotavení[°]
0	0	0	0
5	51,95	57,80	54,88
10	52,01	57,98	55,00
20	52,55	58,21	55,38
30	52,51	58,29	55,40
40	52,51	58,46	55,49
50	52,94	58,15	55,55
60	52,76	58,46	55,61
300	53,92	60,14	57,03
600	54,21	60,85	57,53
1200	54,82	61,38	58,10
1800	55,93	62,66	59,30
2400	56,58	63,00	59,79
3000	56,13	63,26	59,70
3600	56,70	63,38	60,04

*Graf 11: Graf úhlu zotavení – NIS - Elements*

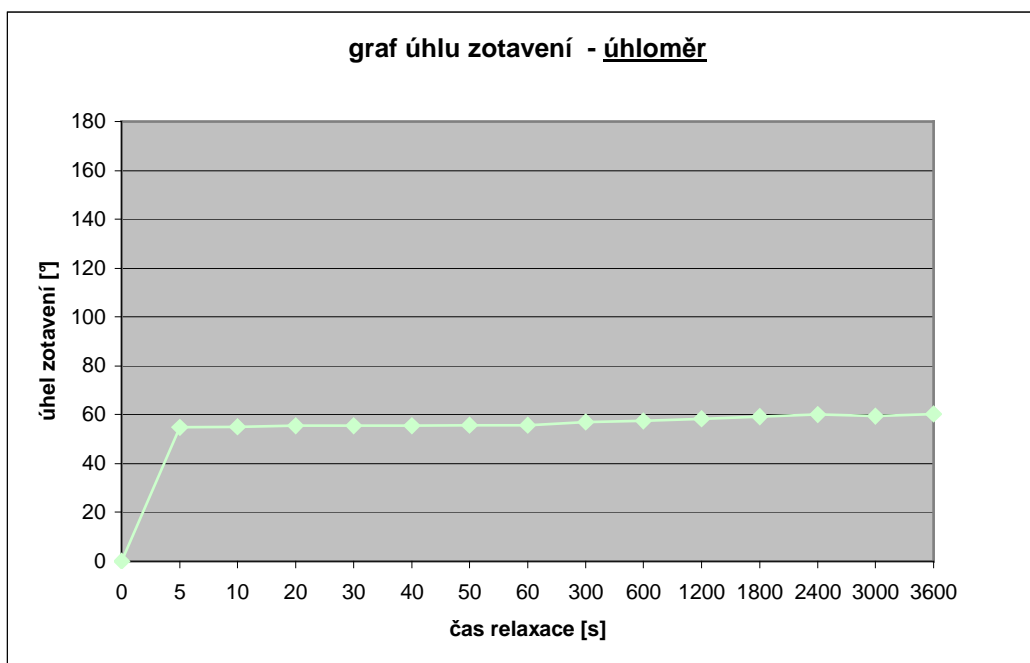


Graf 12: Detailní pohled - graf úhlu zotavení - NIS- Elements

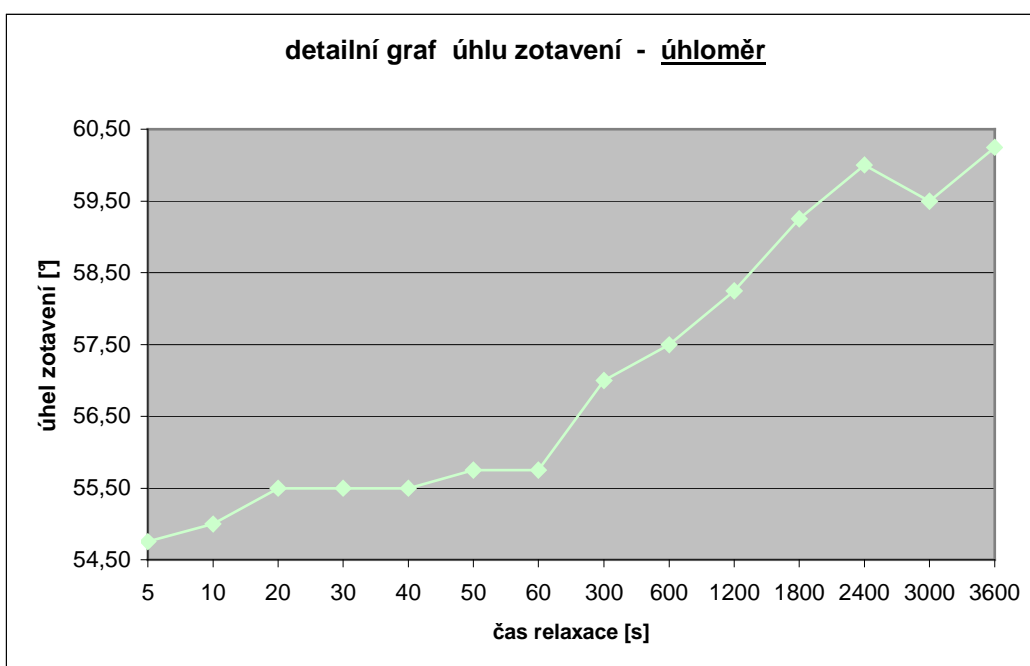
Úhel zotavení měřený pomocí ručního úhloměru

Tabulka 4: Výsledné hodnoty úhlu zotavení - úhloměr

čas relaxace[s]	alfa[°]	beta[°]	úhel zotavení[°]
0	0	0	0
5	52,00	57,50	54,75
10	52,00	58,00	55,00
20	52,50	58,50	55,50
30	52,50	58,50	55,50
40	52,50	58,50	55,50
50	53,00	58,50	55,75
60	52,50	59,00	55,75
300	54,00	60,00	57,00
600	54,50	60,50	57,50
1200	55,00	61,50	58,25
1800	56,00	62,50	59,25
2400	57,00	63,00	60,00
3000	56,00	63,00	59,50
3600	57,00	63,50	60,25



Graf 13: Graf úhlu zotavení – úhloměr



Graf 14: Detailní pohled - graf úhlu zotavení - úhloměr

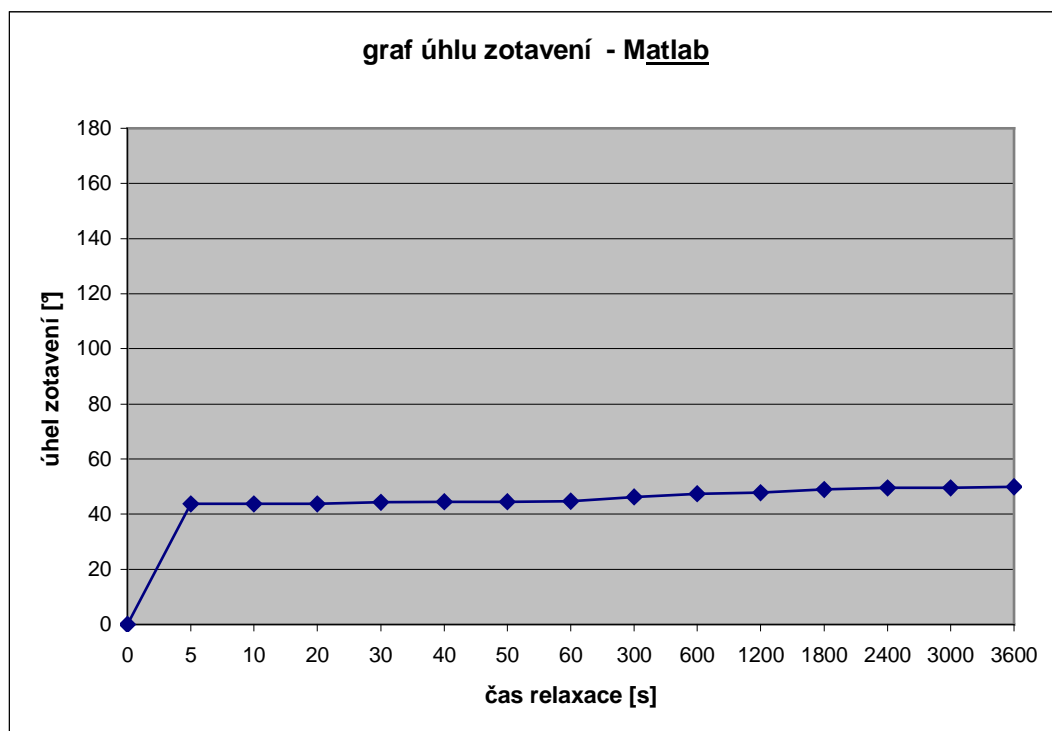
Grafické zpracování měřených úhlů zotavení

Měření úhlu zotavení – vzorek č. 2

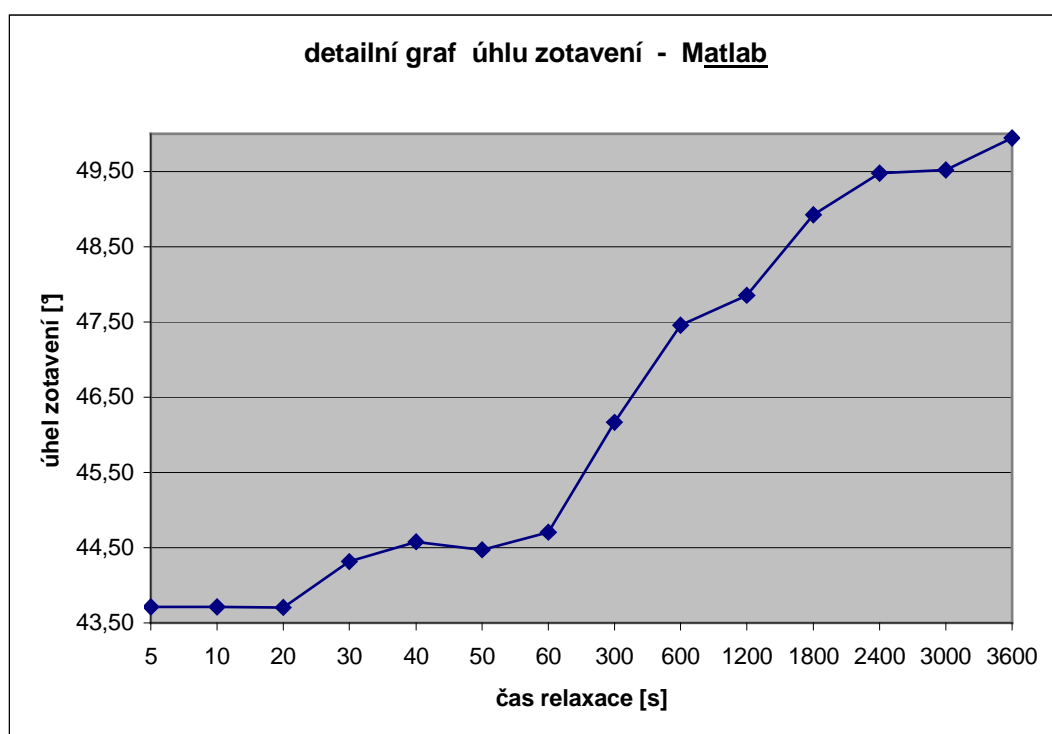
Úhel zotavení měřený pomocí metody typu Matlab

Tabulka 5: Výsledné hodnoty úhlu zotavení - Matlab

čas relaxace[s]	alfa[°]	beta[°]	úhel zotavení[°]
0	0	0	0
5	31,109	56,31	43,71
10	30,612	56,817	43,71
20	30,716	56,686	43,70
30	31,647	56,982	44,32
40	31,877	57,283	44,58
50	31,877	57,065	44,47
60	32,351	57,065	44,71
300	34,428	57,899	46,16
600	35,947	58,958	47,45
1200	36,846	58,856	47,85
1800	37,642	60,199	48,92
2400	38,035	60,916	49,48
3000	38,109	60,931	49,52
3600	38,735	61,136	49,94



Graf 15: Graf úhlu zotavení – Matlab

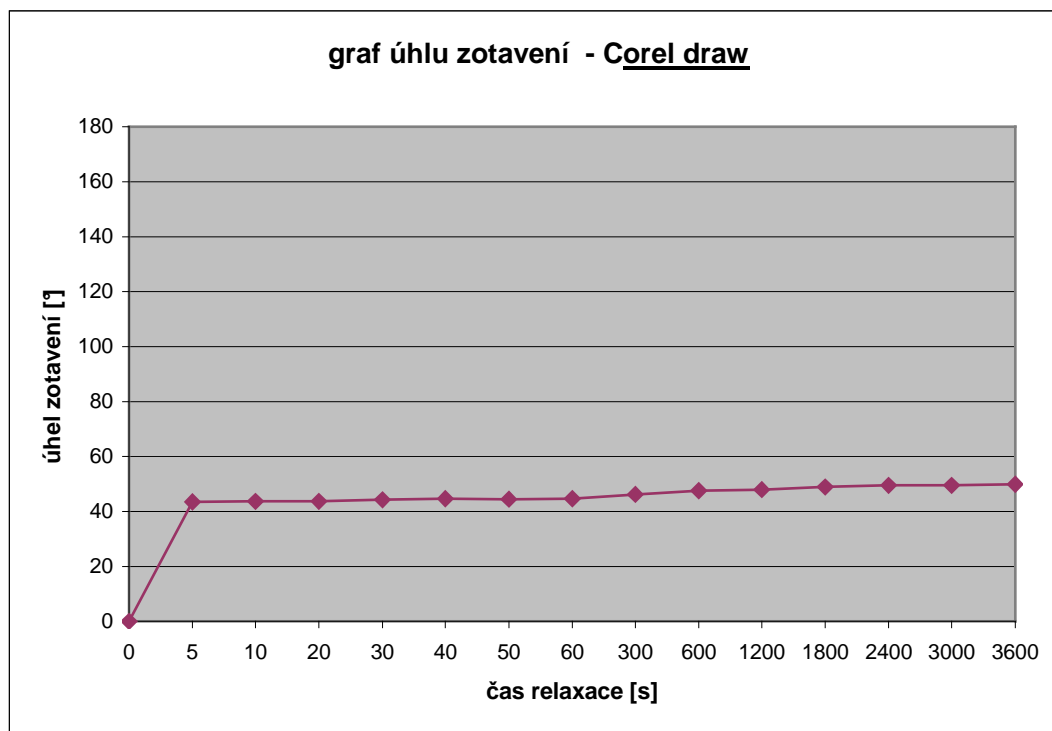


Graf 16: Detailní pohled - graf úhlu zotavení – Matlab

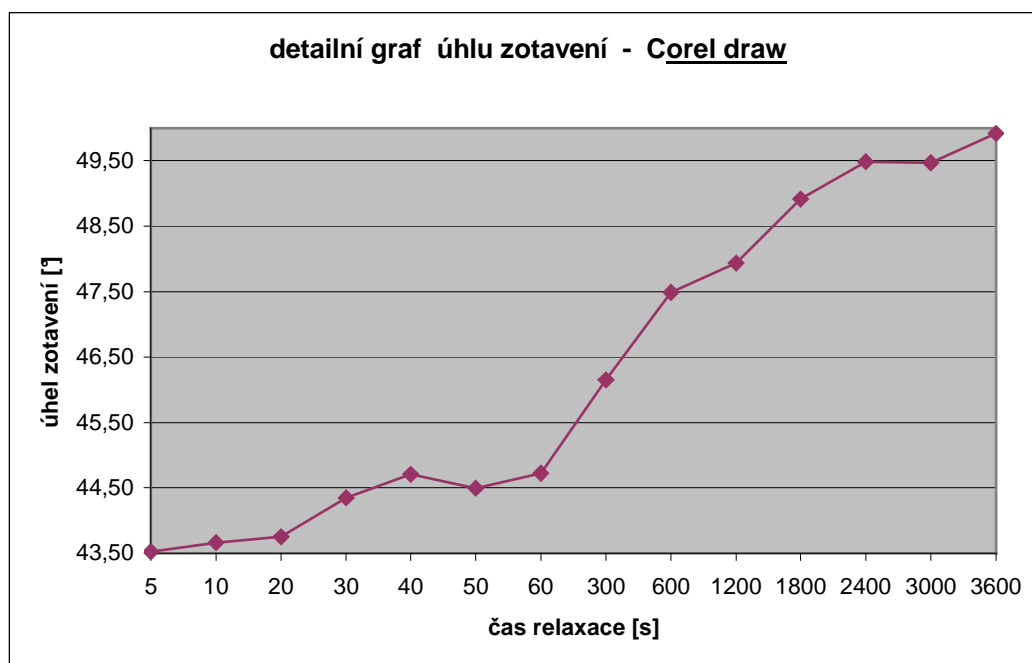
Úhel zotavení měřený pomocí metody typu Corel draw

Tabulka 6: Výsledné hodnoty úhlu zotavení – Corel draw

čas relaxace[s]	alfa[°]	beta[°]	úhel zotavení[°]
0	0	0	0
5	30,79	56,26	43,53
10	30,58	56,75	43,67
20	30,81	56,70	43,76
30	31,69	57,00	44,35
40	31,91	57,51	44,71
50	31,85	57,14	44,50
60	32,34	57,10	44,72
300	34,40	57,90	46,15
600	35,96	59,01	47,49
1200	36,82	59,05	47,94
1800	37,70	60,13	48,92
2400	38,09	60,88	49,49
3000	38,14	60,80	49,47
3600	38,69	61,14	49,92



Graf 17: Graf úhlu zotavení –Corel draw

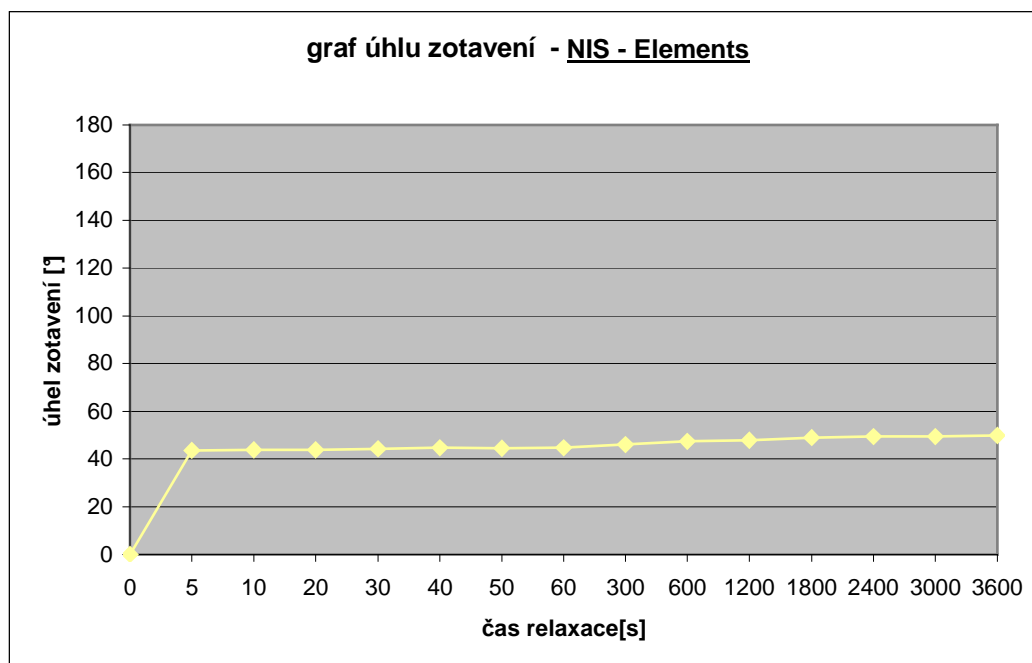


Graf 18: Detailní pohled - graf úhlu zotavení – Corel draw

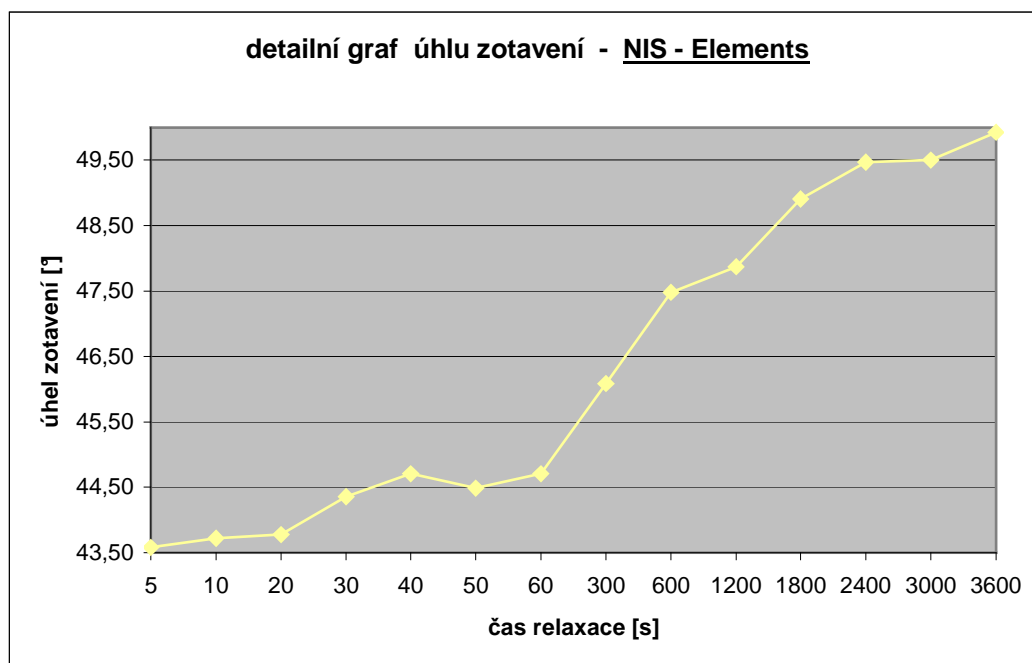
Úhel zotavení měřený pomocí metody typu NIS – Elements

Tabulka 7: Výsledné hodnoty úhlu zotavení - NIS – elements

čas relaxace[s]	alfa[°]	beta[°]	úhel zotavení[°]
0	0	0	0
5	30,82	56,35	43,59
10	30,63	56,81	43,72
20	30,86	56,70	43,78
30	31,73	56,98	44,36
40	32,00	57,41	44,71
50	31,93	57,05	44,49
60	32,25	57,17	44,71
300	34,37	57,80	46,09
600	35,89	59,07	47,48
1200	36,82	58,92	47,87
1800	37,63	60,19	48,91
2400	38,12	60,82	49,47
3000	38,19	60,81	49,50
3600	38,74	61,12	49,93



Graf 19: Graf úhlu zotavení – NIS - Elements

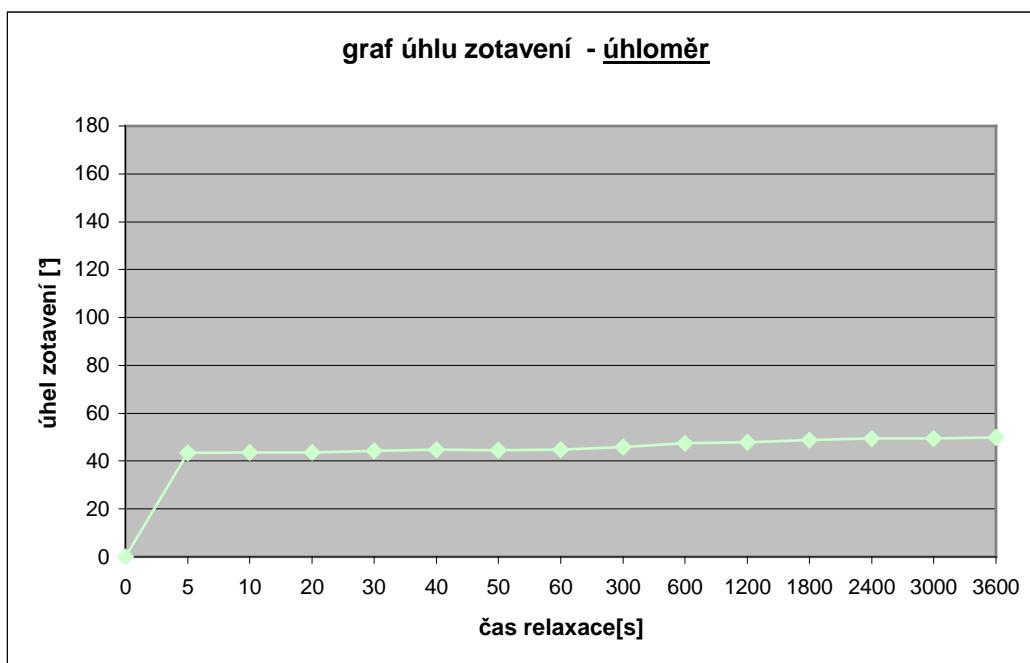


Graf 20: Detailní pohled - graf úhlu zotavení - NIS- Elements

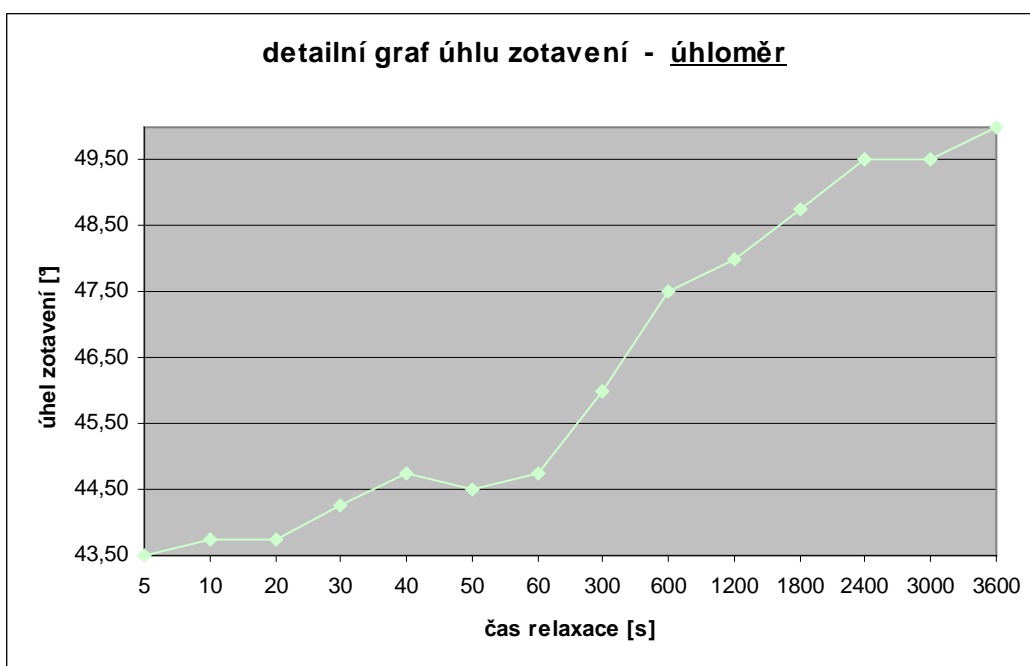
Úhel zotavení měřený pomocí ručního úhloměru

Tabulka 8: Výsledné hodnoty úhlu zotavení - úhloměr

čas relaxace[s]	alfa[°]	beta[°]	úhel zotavení[°]
0	0	0	0
5	31,00	56,00	43,50
10	31,00	56,50	43,75
20	31,00	56,50	43,75
30	31,50	57,00	44,25
40	32,00	57,50	44,75
50	32,00	57,00	44,50
60	32,50	57,00	44,75
300	34,50	57,50	46,00
600	36,00	59,00	47,50
1200	37,00	59,00	48,00
1800	37,50	60,00	48,75
2400	38,00	61,00	49,50
3000	38,00	61,00	49,50
3600	39,00	61,00	50,00



Graf 21: Graf úhlu zotavení – úhloměr



Graf 22: Detailní pohled - graf úhlu zotavení – úhloměr

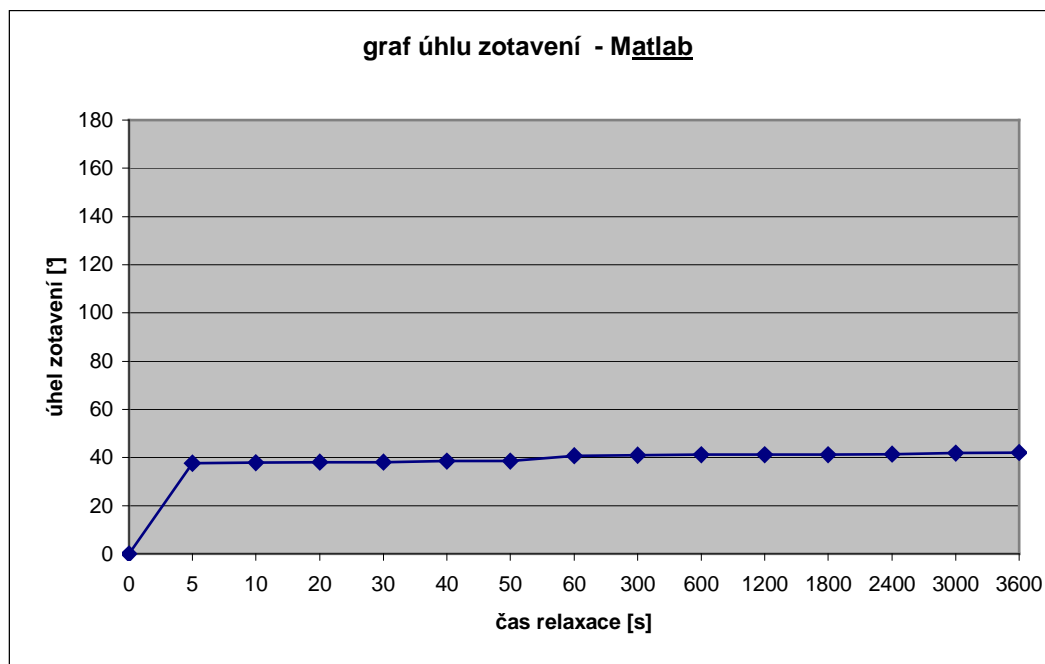
Grafické zpracování měřených úhlů zotavení

Měření úhlu zotavení – vzorek č. 3

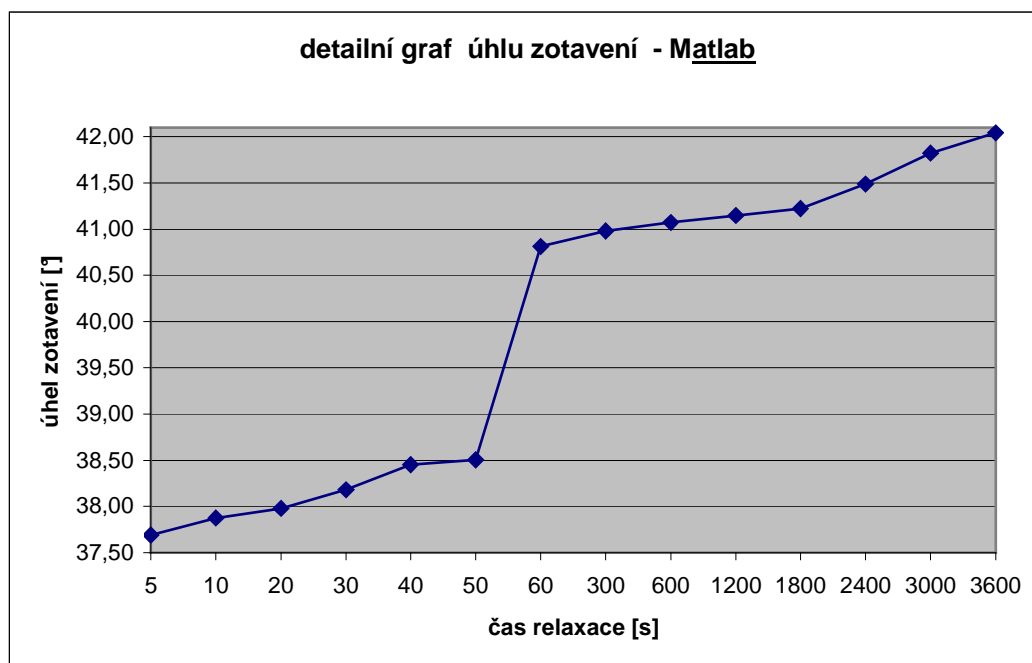
Úhel zotavení měřený pomocí metody typu Matlab

Tabulka 9: Výsledné hodnoty úhlu zotavení – Matlab

čas relaxace [s]	alfa[°]	beta[°]	úhel zotavení[°]
0	0	0	0
5	32,115	43,27	37,69
10	32,184	43,573	37,88
20	32,102	43,865	37,98
30	32,712	43,658	38,18
40	32,720	44,187	38,45
50	33,440	43,588	38,51
60	37,418	44,223	40,82
300	37,156	44,806	40,98
600	37,727	44,433	41,08
1200	37,760	44,536	41,15
1800	38,002	44,444	41,22
2400	38,268	44,721	41,49
3000	38,742	44,907	41,83
3600	39,094	45,000	42,05



Graf 23: Graf úhlu zotavení – Matlab

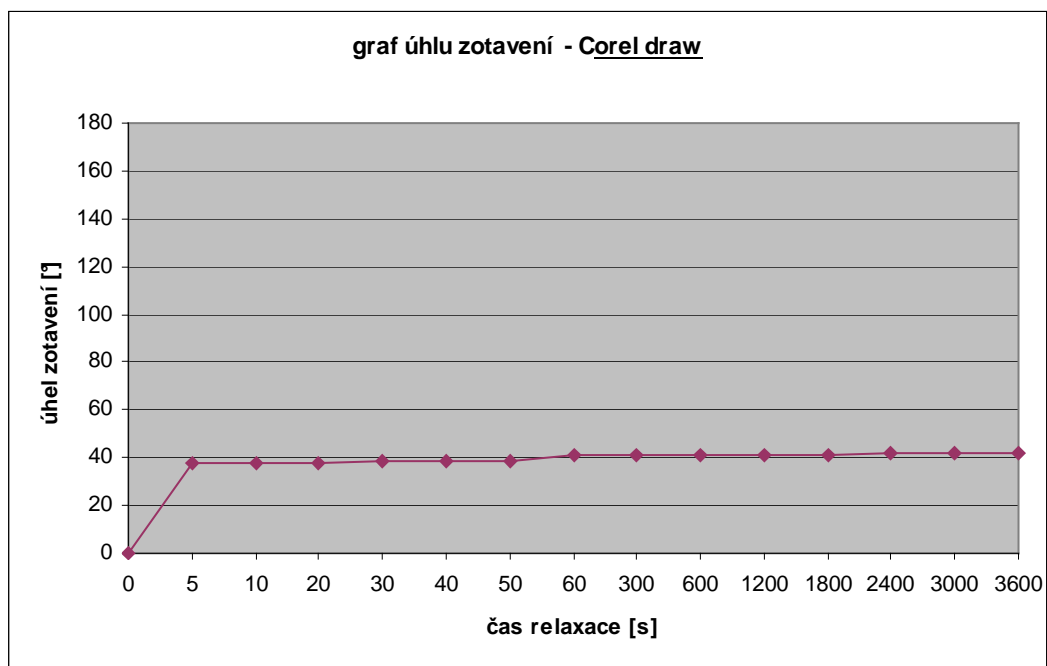


Graf 24: Detailní pohled - graf úhlu zotavení – Matlab

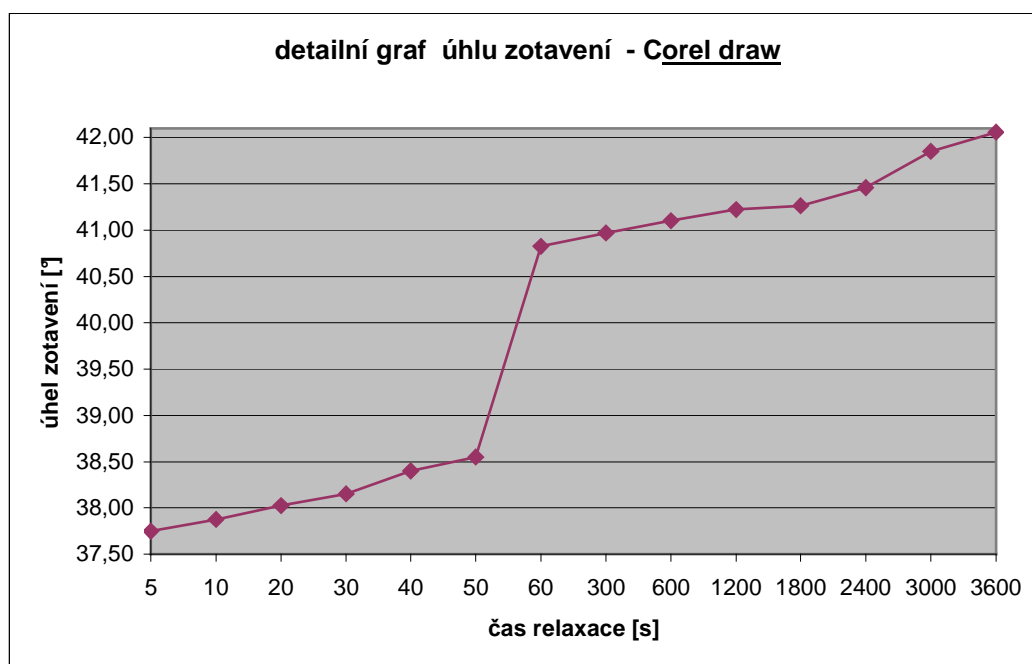
Úhel zotavení měřený pomocí metody typu Corel draw

Tabulka 10: Výsledné hodnoty úhlu zotavení – Corel draw

čas relaxace [s]	alfa[°]	beta[°]	úhel zotavení[°]
0	0	0	0
5	32,10	43,40	37,75
10	32,10	43,65	37,88
20	32,15	43,90	38,03
30	32,60	43,70	38,15
40	32,60	44,20	38,40
50	33,40	43,70	38,55
60	37,35	44,30	40,83
300	37,10	44,84	40,97
600	37,70	44,50	41,10
1200	37,85	44,60	41,23
1800	38,04	44,49	41,27
2400	38,24	44,68	41,46
3000	38,80	44,90	41,85
3600	39,11	45,01	42,06



Graf 25: Graf úhlu zotavení – Corel draw

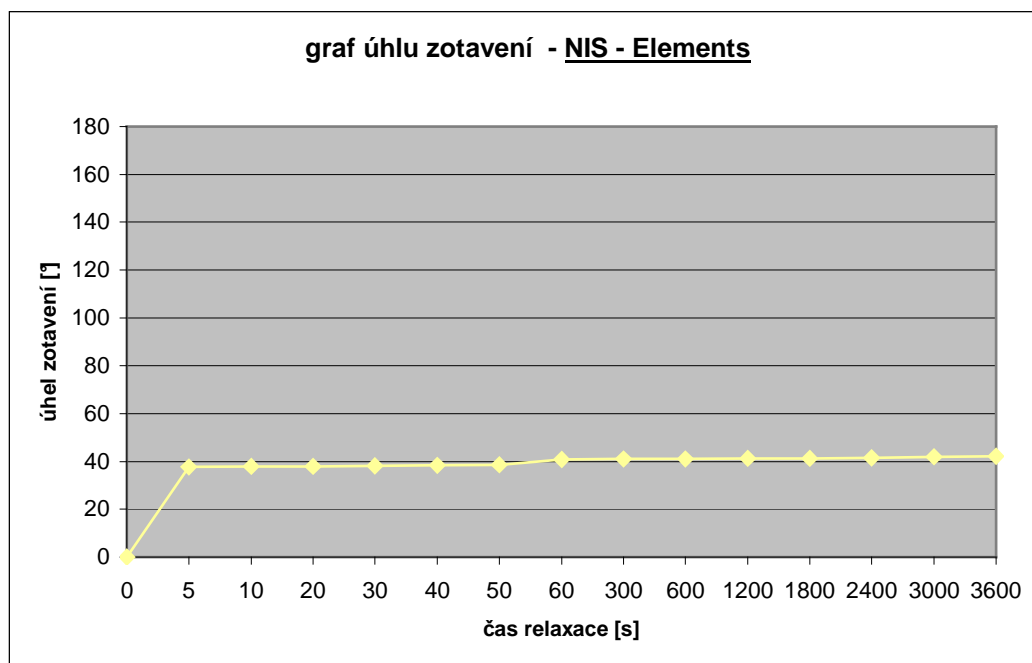


Graf 26: Detailní pohled - graf úhlu zotavení – Corel draw

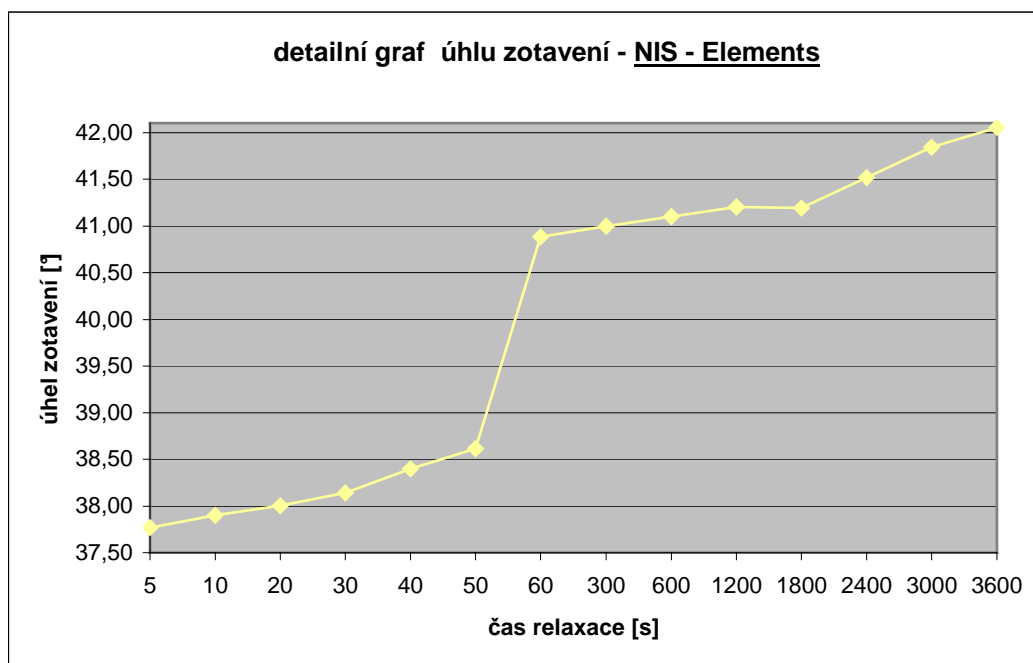
Úhel zotavení měřený pomocí metody typu NIS – Elements

Tabulka 11: Výsledné hodnoty úhlu zotavení - NIS – elements

čas relaxace [s]	alfa[°]	beta[°]	úhel zotavení[°]
0	0	0	0
5	32,11	43,43	37,77
10	32,18	43,62	37,90
20	32,10	43,91	38,01
30	32,58	43,70	38,14
40	32,62	44,18	38,40
50	33,59	43,64	38,62
60	37,36	44,41	40,89
300	37,17	44,83	41,00
600	37,62	44,58	41,10
1200	37,83	44,57	41,20
1800	37,97	44,41	41,19
2400	38,30	44,74	41,52
3000	38,76	44,92	41,84
3600	39,11	45,00	42,06



Graf 27: Graf úhlu zotavení – NIS -Elements

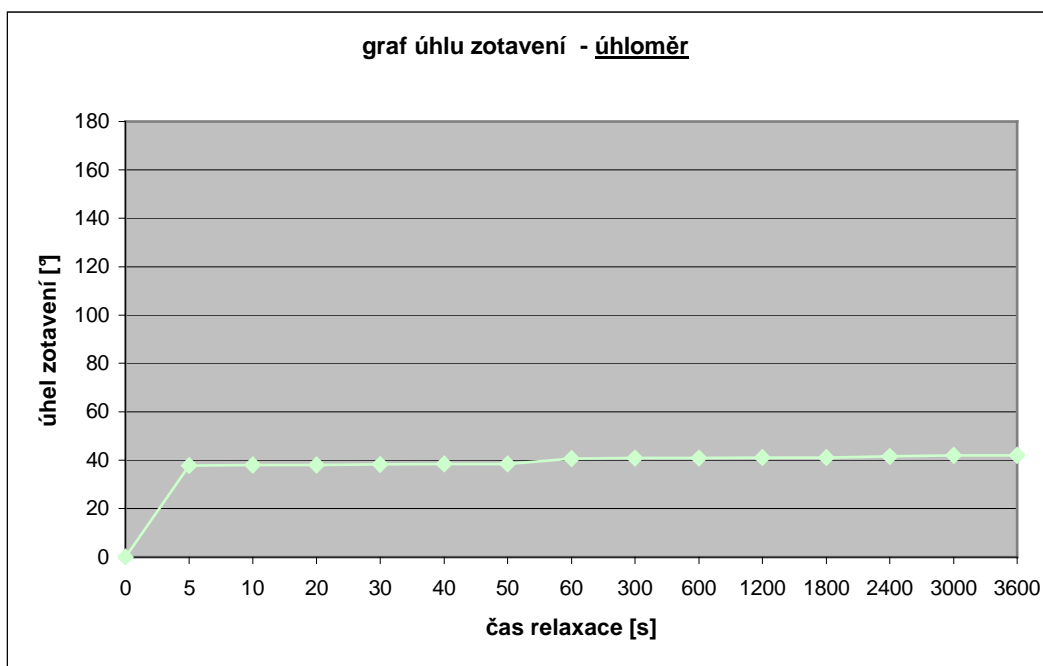


Graf 28: Detailní pohled - graf úhlu zotavení – NIS - Elements

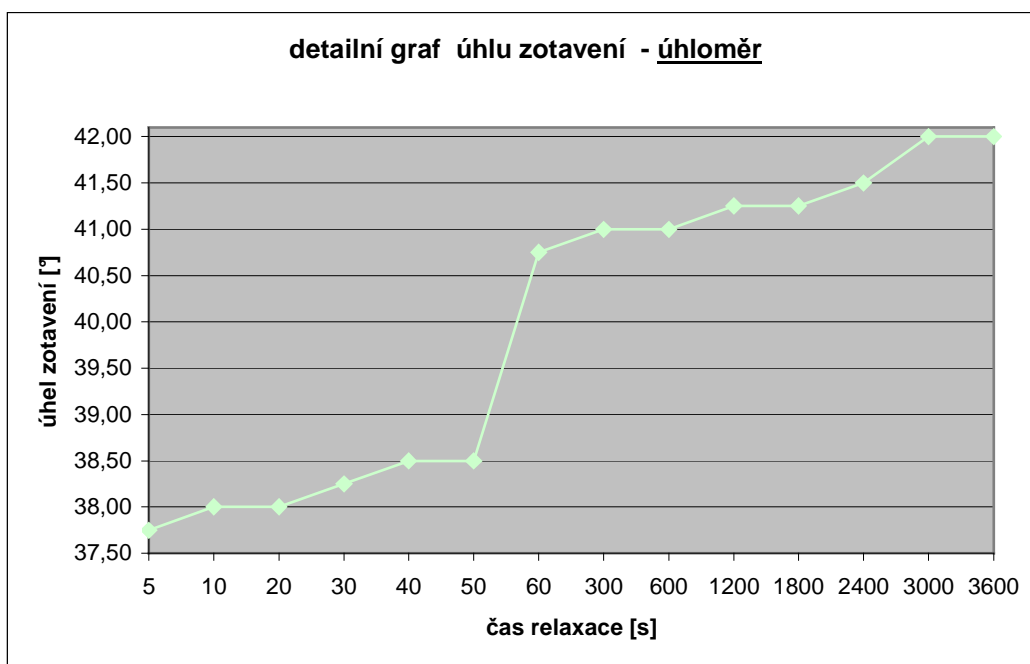
Úhel zotavení měřený pomocí ručního úhloměru

Tabulka 12: Výsledné hodnoty úhlu zotavení - úhloměr

čas relaxace [s]	alfa[°]	beta[°]	úhel zotavení[°]
0	0	0	0
5	32,00	43,50	37,75
10	32,00	44,00	38,00
20	32,00	44,00	38,00
30	32,50	44,00	38,25
40	33,00	44,00	38,50
50	33,50	43,50	38,50
60	37,00	44,50	40,75
300	37,00	45,00	41,00
600	37,50	44,50	41,00
1200	38,00	44,50	41,25
1800	38,00	44,50	41,25
2400	38,00	45,00	41,50
3000	39,00	45,00	42,00
3600	39,00	45,00	42,00



Graf 29: Graf úhlu zotavení – úhloměr



Graf 30: Detailní pohled - graf úhlu zotavení – úhloměr

